



SKRIPSI - 141501

Analisis Perbandingan *Combustion Process* Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Berbasis Eksperimen

**Gusma Hamdana Putra
4212100007**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS - 141501

*Comparison Analysis of Combustion Process Diesel Engine
from a Corm Porang Oil (Amarphopallus Onchophillus) with
Crude Palm Oil (CPO) by Experiment*

**Gusma Hamdana Putra
4212100007**

**Academic Supervisor:
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Perbandingan *Combustion Process* Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Berbasis Eksperimen

Skripsi

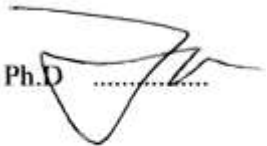
Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP) Program Studi S-1
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Gusma Hamdana Putra
NRP. 4212 100 007

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
NIP: 195605191986101001



Surabaya
Juli, 2016

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisis Perbandingan *Combustion Process* Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Berbasis Eksperimen

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas
Teknologi Kelautan**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Gusma Hamdana Putra
NRP. 4212 100 007**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, MT
NIP. 197708022008011007

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analisis Perbandingan *Combustion Process* Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Oncophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Berbasis Eksperimen

Nama Mahasiswa : Gusma Hamdana Putra
NRP : 4212 100 007
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Permasalahan dasar dalam pengoperasian motor diesel yakni semakin berkurangnya ketersediaan dan persiapan yang diperlukan untuk memenuhi konsumsi bahan bakar. Adanya biodiesel sebagai bahan alternatif yang terbarukan (*Renewable*) mampu memberi jawaban dari permasalahan tersebut. Seperti contohnya biodiesel berbahan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) yang sudah lama dikembangkan dan telah dijadikan sebagai bahan bakar campuran dalam bidang industri, hingga pemanfaatan minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) yang masih baru pengembangannya. Sebuah eksperimen perbandingan proses pembakaran (*Combustion Process*) dari biodiesel minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dengan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dilakukan dengan menggunakan alat mesin analisis pembakaran (*TMR-Instrument Amplifier*). Penyambungan antara motor diesel Yanmar dan komputer dengan perangkat lunaknya (*TMR-Soft*) untuk membaca analisis hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) tersebut. Dari analisis ini menunjukkan bahwa Biodiesel CAO (*Amarphopallus Oncophilus*) memiliki nilai tekanan maksimal (*Maximum Pressure*) dan *Heat Release* yang paling tinggi, nilai *Ignition Delay* yang paling lama & *Knocking* yang berada pada posisi kedua dari Biodiesel CPO & Pertamina Dex sebagai pembandingnya.

Keywords : Biodiesel, Minyak Umbi Porang, Minyak Kelapa Sawit, Motor Diesel, Analisis Proses Pembakaran

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Comparation Analysis of Combustion Process Diesel Engine from a Corm Porang Oil (*Amarphopallus Onchophilus*) with Crude Palm Oil (CPO) by Experiment

Student Name : Gusma Hamdana Putra
NRP : 4212 100 007
Departement : Marine Engineering
Academic Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

*Basic problems about diesel engine operation that reduced availability and preparation required to fulfill the consumption of fuel. Biodiesel as an alternative materials that is renewable have been able to provide an answer from the problem of fuel. For example biodiesel from Crude Palm Oil (CPO) that has been developed and haad been used as fuel mix in the field of industry, until the utilization of Corm Porang Oil (*Amarphopallus Oncophilus*) that relatively new development. An experiment comparison of combustion process from Corm Porang Oil with Crude Palm Oil conducted using combustion analysis engine (TMR-Instrument Amplifier). The connection between Yanmar diesel motor with computer as well as done to read the result of analysis combustion process. From this analysis determined that Biodiesel CAO have the highest Maximal Pressure and Heat Release, has the most long value of Ignition Delay and the second position of Knock Detection from Biodiesel CPO and Pertamina Dex.*

Keywords : Biodiesel, Corm Porang Oil, Crude Palm Oil, Diesel Engine, Combustion Process Engine

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Permasalahan	3
1.4. Tujuan Permasalahan	3
1.5. Manfaat Penulisan	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Overview	5
2.2. Biodiesel.....	6
2.3. Metode Transesterifikasi	8
2.4. Umbi Porang.....	10
2.5. Analisis Proses Pembakaran.....	12
BAB III.....	15
METODOLOGI	15
3.1. Identifikasi & Perumusan Masalah	16
3.2. Studi Literatur.....	16
3.3. Persiapan Alat dan Bahan.....	16
3.4. Eksperimen Analisis Proses Pembakaran.....	18
3.5. Pengumpulan Data	18
3.6. Analisa & Pembahasan.....	18
3.7. Kesimpulan & Saran	19
BAB IV	21
ANALISA & PEMBAHASAN	21
4.1. Perencanaan Analisis Proses Pembakaran.....	21

4.2.	Analisis Hasil Proses Pembakaran	29
4.3.	Pengaruh Bahan Bakar terhadap <i>Maximum Pressure</i>	32
4.4.	Pengaruh Bahan Bakar terhadap <i>Ignition Delay</i>	34
4.5.	Pengaruh Bahan Bakar terhadap <i>Heat Release</i>	35
4.6.	Pengaruh Bahan Bakar terhadap <i>Knock Detection</i>	37
BAB V	.....	39
KESIMPULAN & SARAN	.....	39
4.1.	Kesimpulan	39
4.2.	Saran	40
BAB VI	.....	41
DAFTAR PUSTAKA	.....	41
BAB VII	.....	43
LAMPIRAN	.....	43
Lampiran 1.	Proses Pembuatan Biodiesel Umbi Porang	43
Lampiran 2.	Produksi Biodiesel Kelapa Sawit (CPO).....	48
Lampiran 3.	Hasil Uji Properties Umbi Porang	50
Lampiran 4.	Pengambilan Data Pra-Eksperimen	52
Lampiran 6.	Perhitungan Ignition Delay	59
Lampiran 7.	Rumus Perhitungan Performansi.....	60
Lampiran 8.	Grafik SFOC dari Biodiesel & Pertamina Dex ...	63
Lampiran 9.	Grafik Proses Pembakaran	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Buah Kelapa Sawit	6
Gambar 2.2a. Blok Diagram Proses Produksi Biodiesel	8
Gambar 2.3b. Blok Diagram Proses Produksi Biodiesel.....	9
Gambar 2.4. Tanaman beserta Umbi Porang.....	10
Gambar 2.5. Minyak Umbi Porang	11
Gambar 2.6. Pengaturan <i>Combustion Process CPO Biodiesel</i> ...	12
Gambar 2.7. <i>Press. vs. C. Angle diagrams for CPO & Diesel</i>	13
Gambar 2.8. <i>Heat Release Rates for CPO and Diesel</i>	13
Gambar 2.9. <i>Net Heat Release for CPO and Diesel</i>	14
Gambar 4.1. Biodiesel CPO & CAO 20%	21
Gambar 4.2. Lokasi <i>Pressure Transducer & Rotating Encoder</i> ...	23
Gambar 4.3. <i>Engine Setup</i> Analisis Proses Pembakaran.....	24
Gambar 4.4 . <i>Analog Device Hardware Setup</i>	25
Gambar 4.5 . <i>CAN Device Hardware Setup</i>	26
Gambar 4.6. <i>Timing Device Hardware Setup</i>	27
Gambar 4.7. <i>Analog Signal Hardware Setup</i>	28
Gambar 4.8. <i>Export File Setup</i>	30
Gambar 4.9. Hasil Analisis Proses Pembakaran	31
Gambar 4.10. Grafik <i>Max. Pressure at RPM 1900, 80% Load</i> ...	32
Gambar 4.11. Grafik <i>Max. Press. at RPM 1900, 80% Load</i>	33
Gambar 4.12. Grafik <i>Ignition Delay at RPM 1900, 80% Load</i> ...	34
Gambar 4.13. Grafik <i>Ignt. Delay at RPM 1900, 80% Load</i>	34
Gambar 4.14. Grafik <i>Heat Release at RPM 1900, 80% Load</i>	35
Gambar 4.15. Grafik <i>Heat Release at RPM 1900, 80% Load</i>	36
Gambar 4.16. Grafik <i>Knocking at RPM 1900, 80% Load</i>	37

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Biodiesel sesuai SNI.....	7
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Lab. Minyak Umbi Porang	22
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Lab. Biodiesel Umbi Porang	22

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Motor diesel, bahan bakar minyak, energi terbarukan dan polusi udara merupakan topik-topik yang diprioritaskan oleh banyak pihak khususnya para peneliti. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan rekomendasi kepada pemerintah tentang teknologi terbarukan motor diesel yang ramah lingkungan. Dengan karakteristiknya yaitu efisiensi, ketahanan (*Durability*) dan kepercayaan (*Reliability*) yang tinggi, menjadikan motor diesel dapat diaplikasikan di berbagai area (*Aguk Zuhdi, dkk, 1996*).

Namun, dari keunggulan motor diesel tersebut ternyata masih menggunakan bahan bakar yang konvensional (fosil). Banyak negara, terutama Indonesia mengalami masalah kekurangan bahan bakar tersebut. Impor bahan bakar untuk kebutuhan negara ini terbilang sangat besar. Bahan bakar yang memiliki sifat tidak bisa diperbarui (*Non-Renewable*) tersebut sangat terbatas keberadaannya dan dari waktu ke waktu akan semakin berkurang kapasitas sumbernya. Sehingga perlu adanya sumber energi terbaru yang memiliki sifat dapat diperbarui (*Renewable*).

Minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) merupakan salah satu sumber energi alternatif (biodiesel) dari tumbuhan kelapa yang dikembangkan sejak tahun 1992, dimana memiliki kapasitas yang besar yaitu 1 ton/jam atau 20 ton/hari. Biodiesel tersebut memiliki sifat cukup baik sebagai bahan bakar alternatif seperti halnya nilai kalor, viskositas dan bilangan setana yang mendekati sifat bahan bakar solar (*Hanif, 2004*). Disisi lain, juga telah dikembangkan sumber energi alternatif terbaru dari minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) yang menggunakan proses reaksi transesterifikasi untuk membentuk *Methyl Ester* yang memiliki kemiripan sifat dengan bahan bakar solar.

Syarat agar terjadinya pembakaran di dalam motor diesel terdiri dari tiga komponen yaitu bahan bakar (*fuel*), udara (*air*) serta energi panas (*heat*). Bahan bakar dapat dikatakan sempurna apabila memiliki proses pembakaran yang baik. Proses pembakaran itu meliputi penginjeksian bahan bakar, pencampuran bahan bakar dengan udara, perubahan tekanan, energi panas, knocking dan hasil gas buang.

Penelitian ini membahas tentang analisis proses pembakaran (*Combustion Process*) dari salah satu bahan bakar alternatif yaitu biodiesel. Metode dilakukan dengan cara membandingkan antara biodiesel yang telah lama dikembangkan dengan biodiesel yang baru saja dikembangkan dimana meliputi minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) serta minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*). Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui karakteristik serta kandungan dari kedua biodiesel tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Biodiesel minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Eksperimen tentang proses pembakaran dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari masing-masing ketika digunakan dalam motor diesel umumnya. Oleh karena itu pada penelitian perbandingan biodiesel umbi porang dengan biodiesel minyak kelapa sawit memiliki rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur melakukan analisis proses pembakaran (*Combustion Process*) dari biodiesel minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*)?
2. Bagaimana hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*)?

3. Bagaimana perbandingan hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*)?

1.3. Batasan Permasalahan

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup dari analisis proses pembakaran (*Combustion Process*) terdiri atas proses penginjeksian (*Ignition Delay*), tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), perubahan energi panas (*Heat Release*) dan knocking (*Knocking*).
2. Variabel bahan bakar yang digunakan meliputi Pertamina Dex (100%) sebagai literatur, biodiesel dari minyak umbi porang dan minyak kelapa sawit sebanyak 20% (B20%).
3. Analisis proses pembakaran menggunakan alat sensor TMR-Instrument serta *SYSMONSoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
4. Analisis proses pembakaran dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK ITS.

1.4. Tujuan Permasalahan

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui prosedur menganalisis proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel dari umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*).
2. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel dari umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*).

3. Untuk mengetahui perbandingan hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel dari umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan biodiesel dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*)

1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menambah pengetahuan tentang sumber bahan bakar nabati sebagai pembuatan biodiesel dan cara membuat biodiesel
2. Mengetahui *Properties*, hasil & perbandingan hasil dari proses pembakaran (*Combustion Process*) minyak umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) saat digunakan sebagai bahan bakar pada motor diesel.
3. Mengetahui bagaimana penanganan untuk masing-masing biodiesel terhadap penggunaan sebagai bahan bakar di motor diesel pada umumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Overview

Presetio (2015), menyatakan bahwa dalam kurun waktu dekat ini Indonesia telah mendekati krisis bahan bakar minyak, stok cadangan minyak mentah yang berasal dari fosil semakin hari semakin menipis. Hal ini diperkuat dengan besarnya bahan bakar minyak yang dikonsumsi oleh negeri ini sudah mencapai angka 1,6 juta barrel per hari, sementara produksi yang diolah oleh negeri ini hanya mencapai angka 812.000 barrel per hari, tidak seperti tahun 70-an yang produksinya mampu mencapai angka 1,5 juta barrel per hari. Dengan laju peningkatan konsumsi bahan bakar minyak sebesar 6-9% tiap tahunnya, maka diperkirakan negara Indonesia dalam kurun 11 tahun cadangan bahan bakar di negeri ini akan habis. Oleh karena itu untuk mengatasi hal ini agar tidak terjadi dalam waktu dekat perlu adanya pengembangan energi baru untuk mengurangi penyerapan cadangan minyak mentah yang telah menipis ini. Dimana salah satu pengembangan energi baru ini yaitu memanfaatkan minyak yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan diolah menjadi bahan bakar nabati.

Sebuah solusi dari permasalahan mengenai bahan bakar minyak yang diperkirakan akan habis dalam kurun 11 tahun mendatang adalah minyak bahan bakar dari tumbuhan, seperti contohnya minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*), minyak aren (*Arenga Pinnata*), minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas*), minyak kemiri sunan (*Aleurites Trisperma Blanco*), minyak tanaman sagu (*Metroxylon Spp.*). Walaupun bahan bakar ini belum berkembang secara luas namun cukup berpotensi untuk digunakan di kawasan tertentu serta dikembangkan di berbagai wilayah Indonesia dan hanya dengan sistem pengolahan yang tradisional. (*Puslitbang Perkebunan, 2015*)

Bahan bakar nabati yang telah banyak dikembangkan dan telah digunakan dalam kawasan industri karena paling layak dan paling siap diolah yaitu biodiesel dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*). Dalam *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Indonesian Palm Oil Producers Association (Gapki) and Indonesian Ministry of Agriculture* (2015) menyatakan bahwa telah tercatat pada tahun 2015 produksi minyak kelapa sawit telah mencapai angka 31,5 juta ton metrik dan tiap tahun akan terus menunjukkan angka pertambahan. Contoh buah kelapa sawit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Buah Kelapa Sawit (*Ramos, 2012*).

2.2. Biodiesel

Biodiesel yang digunakan sehari-hari ternyata memiliki kekuatan yang baik (*Inergetic*), ramah lingkungan (*Enviromental*) serta keuntungan harga produksi (*Economic Advantages*). Syarat yang penting dari biodiesel dalam penggunaan di mesin diesel salah satunya yaitu memiliki karakteristik bahan bakar yang sesuai dengan standar biodiesel. Hal ini dikarenakan untuk kestabilan mesin diesel saat berada di kondisi yang tidak pada umumnya (*Ramos. 2012*)

Adapun karakteristik biodiesel sesuai Standar Negara Indonesia (SNI) ada pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Karakteristik Biodiesel sesuai SNI

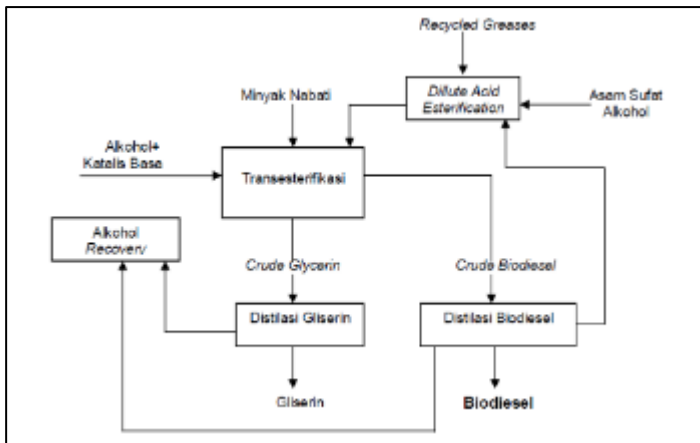
No	Parameter & Satuannya	Batas Nilai
1.	Densitas pada 15°C, Kg/m ³	850–890
2.	Viskositas kinematik pada 40°C (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka Setana	Min. 51
4.	Titik nyala (flash point) pada 0°	Min.100
5.	Titik kabut (Cloud Point)	Max. 18
6.	Titik Tuang (Pour Point)	Max. 18
7.	Korosi bilah tembaga (3 jam, 500°C)	Max.3
8.	Residu karbon,%-berat,	Max.0,05
9.	Air dan sediman,% -volume	Maks.0,05
10.	Temperatur distilasi 90%, 0C	Maks.360
11.	Abu tersulfatkan,%-berat	Maks 0,02
12.	Belerang,ppm-b (mg/kg)	Maks.100
13.	Fosfor,ppm-b (mg/kg)	Maks.10
14.	Angka asam,mg-KOH/gr	Maks.0,8
15.	Gliserol bebas,%-berat	Maks.0,02
16.	Gliserol total,%-berat	Maks.0,24
17.	Kadar ester alkil,%-berat	Min.96,5
18.	Lower Heating Value, BTU/lbm	Maks.18288

Sumber: Standard Biodiesel Indonesia

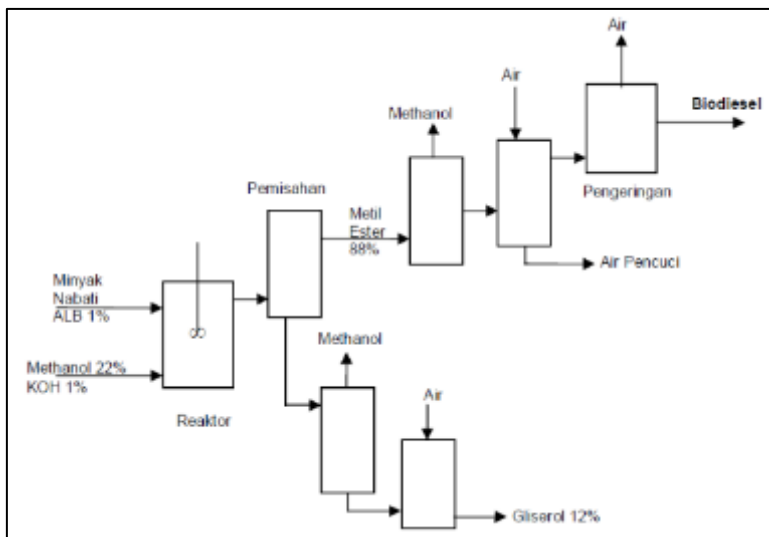
2.3. Metode Transesterifikasi

Dalam membuat biodiesel, metode yang sering digunakan adalah metode transesterifikasi. Dimana metode ini menggunakan methanol serta katalis yang bisa berupa homogen ataupun heterogen. Adapun reaksi kimia yang dihasilkan dari metode ini berupa alkohol rantai pendek (methanol), konsentrasi katalis, rasio molar dari minyak, perubahan suhu, tekanan serta perubahan waktu reaksi (Ramos. 2012).

Rahayu (2015), menyatakan dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit yaitu melalui reaksi transesterifikasi dengan methanol akan menghasilkan *gliserin*, *metil stearate*, *metil oleate*. Metil oleate atau biodiesel dan gliserin harus dipisahkan melalui suatu tangki pengendap. Setelah gliserin dipisahkan larutan dicuci dengan air dan selanjutnya didistilasi sehingga menghasilkan biodiesel sesuai standard yang diinginkan. Minyak nabati merupakan campuran trigliserida dengan Asam Lemak Bebas (ALB), komposisi minyak nabati tergantung pada tanaman penghasil minyak tersebut. Kandungan ALB akan mempengaruhi proses produksi biodiesel dan bahan bakar yang dihasilkan seperti pada Gambar 2.2a dan 2.2b dibawah ini.



Gambar 2.2a. Blok Diagram Proses Produksi Biodiesel (Rahayu, 2015)



Gambar 2.3b. Blok Diagram Proses Produksi Biodiesel (Rahayu, 2015)

Pengujian performansi bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dilakukan oleh Hanif (2004). Pengujian dilakukan menggunakan Motor Yanmar TF85-MH NF-19 dengan metode membandingkan prestasi kerja dari bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan bahan bakar solar dan dianalisa terkait konsumsi bahan bakar (SFOC), efisiensi thermal, dan efisiensi volumetrik. Hasil yang diperoleh dengan membandingkan antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan bahan bakar solar adalah adanya peningkatan SFOC rata-rata antara 2,96% - 13,48%, penurunan efisiensi thermal rata-rata antara 2,96% - 5,33% serta kesamaan yang relatif dari efisiensi volumetrik dari kedua bahan bakar tersebut. Selain itu biodiesel ini baik untuk motor yang bekerja pada beban yang tinggi dan putaran poros yang rendah.

2.4. Umbi Porang

Presetio (2015) berhasil membuat bahan bakar nabati baru yang terbuat dari tanaman umbi porang (*Amarphopallus Oncophilus*) dimana tanaman ini tumbuh kondisi lingkungan yang biasa ditumbuhi pohon jati, mahoni sono dan lain-lain. Porang merupakan famili Araceae yang merupakan tumbuhan semak yang berumbi di dalam tanah, dan menghasilkan karbohidrat. Tanaman ini tumbuh dengan tinggi 100-150 cm, berbatang halus, tangkai dan daunnya berwarna hijau hingga hijau tua bergaris-garis dengan bercak putih seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4. Tanaman beserta Umbi Porang (*Direktorat Budidaya Aneka Kacang & Umbi, 2015*)

Tanaman porang merupakan tanaman lorong di antara tanaman tahunan sehingga lebih menyukai lingkungan dengan tingkat naungan tinggi dan kelembapan cukup. Di Jawa Timur, potensi hutanya masih sangat luas. (*Direktorat Budidaya Aneka Kacang & Umbi, 2015*).

Prasetio (2015), mengatakan bahwasanya pembuatan biodiesel pada umbi porang dilakukan dengan proses yang sederhana. Bahan baku yang digunakan selain dari umbi porang adalah methanol. Dengan proses pemanasan sari umbi porang, penambahan H_2SO_4 setiap liter nya maka akan menjadi minyak porang. Dengan proses pencampuran katalis KOH sebesar 3,5 gram per 100 ml yang dinamakan larutan metoksid dan dipanaskan dalam temperatur 60°

– 75°C maka akan terjadi reaksi pemisahan antara *gliserin* dan *Methyl Ester*. *Methyl Ester* inilah yang disebut biodiesel memiliki kemiripan sifat dengan minyak solar seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5. Minyak Umbi Porang (Prasetio, 2015)

Dan dalam pembuatan minyak umbi porang menjadi biodiesel ini telah melewati tahap uji performansi. Namun sebelum di uji performansi dilakukan pengujian *Properties* biodiesel untuk menentukan kualitasnya. Dimana data uji *Properties* biodiesel ini akan dianalisa dengan mengacu pada standard biodiesel seperti *Water Content*, *Desity*, *Viscosity*, *Flash Point*, *Pour Point* dan *Lower Heating Value*.

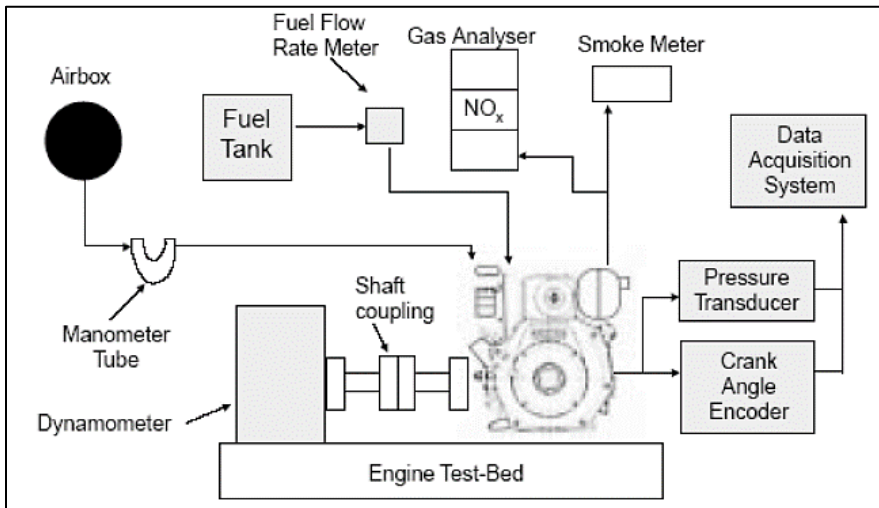
Dalam pengujian performansi dari biodiesel umbi porang ini diambil 4 analisa yaitu daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi thermal. Selain itu juga dilakukan 4 sampel campuran antara biodiesel umbi porang dengan solar yaitu sebesar 0% biodiesel, 10% biodiesel dan 20% biodiesel. Dan untuk hasilnya didapatkan bahwa 10% biodiesel dan 20% biodiesel dari campuran dengan bahan bakar solar direkomendasikan sebagai pengganti bahan bakar motor diesel karena memiliki kandungan *Properties* yang lebih baik serta memiliki peningkatan prestasi kerja yang signifikan antara penggunaan 0% biodiesel dengan 20% biodiesel pada putaran yang sama, dimana nilai daya maksimum, torsi maksimum mengalami peningkatan sebesar 12,59%, efisiensi thermal mengalami peningkatan sebesar 21,49% dan nilai SFOC yang lebih rendah sebesar 15,45%.

2.5. Analisis Proses Pembakaran

Nagi, Syed, & Farrukh (2008) melakukan eksperimen uji proses pembakaran (*Combustion Process*) pada biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan melakukan perbandingan dari beberapa komposisi bahan bakar seperti :

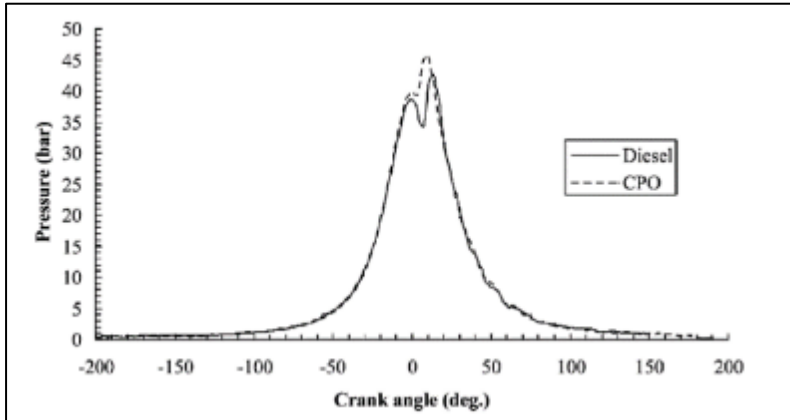
1. D2 Fuel (100% Solar)
2. B10 Fuel (10% CPO + 90% D2)
3. B20 Fuel (20% CPO + 80% D2)

Eksperimen ini menggunakan Mesin Diesel Yanmar TF85-MH L70-AE (*Single Cylinder Direct Injection*) dengan karakteristik maksimum power sebesar 4,9 kW pada 3400 RPM dengan pengaturan yang ada pada Gambar 2.5 dibawah ini.

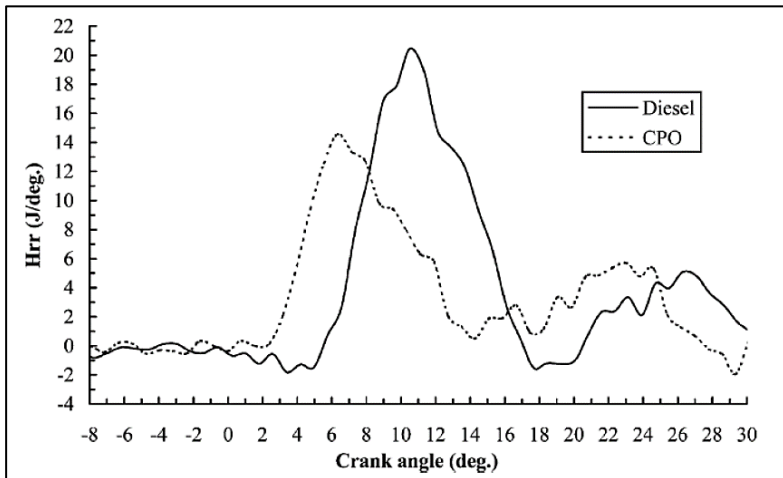


Gambar 2.6. Pengaturan *Combustion Process Crude Palm Oil Biodiesel* (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)

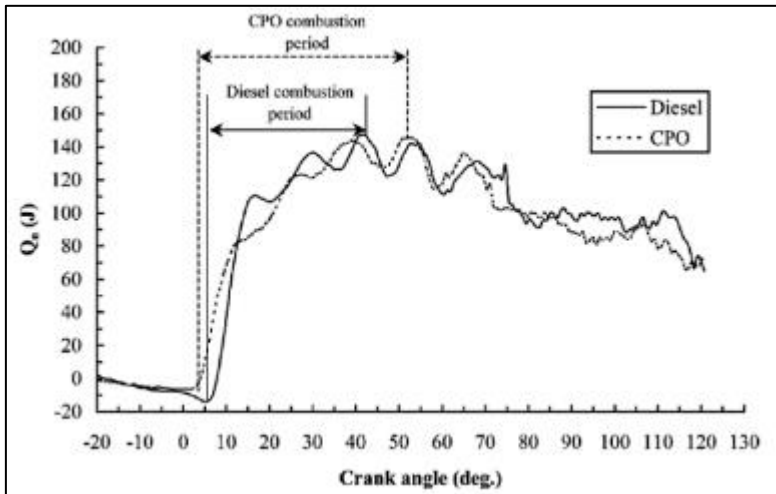
Adapun pengujian proses pembakaran seperti uji tekanan (*Pressure Test*), *Position of Crank Angle*, *Heat Release*, *Net Heat*, *Release*. Untuk prosesnya dapat dilihat pada Gambar 2.6, 2.7 dan 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.7. *Pressure vs. Crank Angle diagrams for CPO and Petroleum Diesel Combustion (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)*



Gambar 2.8. *Heat Release Rates for CPO and Diesel Combustion (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)*

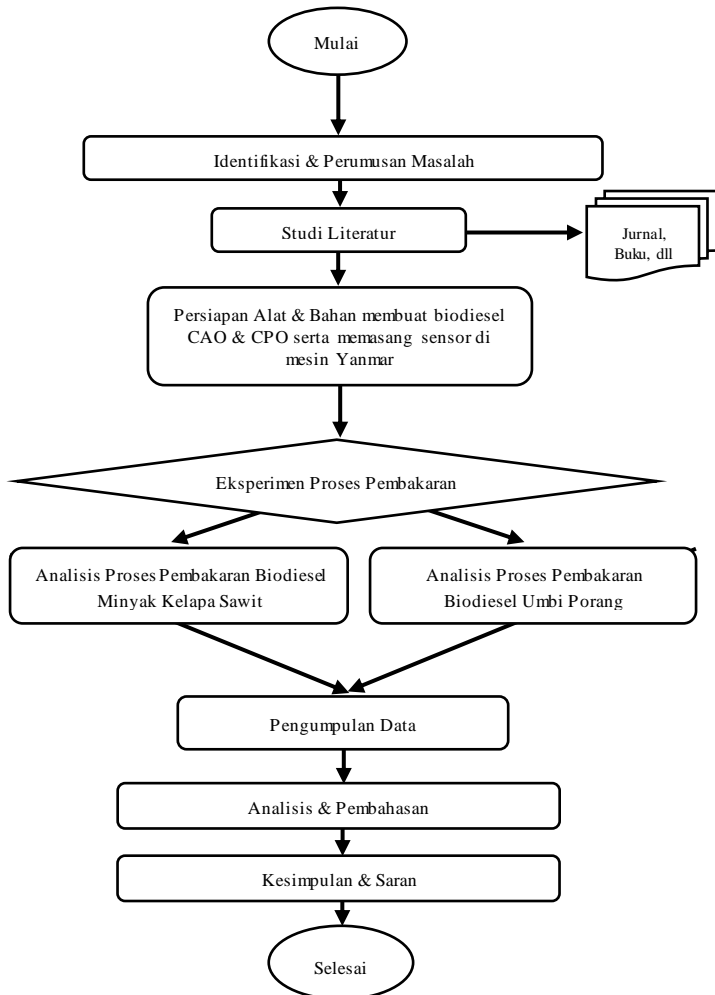


Gambar 2.9. Net Heat Release values for CPO and Diesel Combustion (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)

Eksperimen ini menunjukkan bahwa biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) memiliki karakteristik lebih rendah dibanding bahan bakar solar, seperti hasil power performansi, torsi dan efisiensi thermal yang lebih rendah dibanding bahan bakar solar dikarenakan untuk titik bakar yang berada di bawah solar. Ketika berada pada putaran yang rendah campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar menghasilkan torsi yang hampir mendekati bahan bakar solar 100% dan pada putaran yang tinggi maka campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar akan jauh dibawah bahan bakar solar. Hal tersebut dikarenakan tingkat kekentalan (*Density*) dari campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar lebih besar dibanding bahan bakar solar.

BAB III METODOLOGI

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode eksperimen. Adapun diagram metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:



3.1. Identifikasi & Perumusan Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini, untuk mengetahui bagaimana perbandingan proses pembakaran pada biodiesel dari minyak umbi porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*).

3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, studi literatur tersebut mengacu pada karakteristik antara Umbi Porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) serta proses pembakaran yang meliputi dari tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), *Ignition Delay*, *Heat Release*, dan *Knocking*.

3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis proses pembakaran biodiesel Umbi Porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*). Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

- a. Bahan Bakar Pertamina Dex
- b. Bahan bakar CPO (*Crude Palm Oil*), bahan bakar CAO (*Amorphopallus Oncophyllus*)
- c. Mesin Diesel Yanmar TF85-MH
- d. Hardware *Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU* dengan *Entry Level Cards*
- e. Software *SYSMONSoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
- f. Komputer sebagai pengolahan data

Untuk penentuan variabel bahan bakar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Variabel Bahan Bakar
 - i. D100 = Pertamina Dex 100%
 - ii. BCPO = (*Crude Palm Oil*) sebanyak 20% (B20)
 - iii. BCAO = (*A. Oncophyllus*) sebanyak 20% (B20)
- b. Variabel RPM
 - i. Pada RPM 1800
 - ii. Pada RPM 1900
 - iii. Pada RPM 2000
 - iv. Pada RPM 2100
 - v. Pada RPM 2200
- c. Variabel Beban
 - i. Pada beban 0%
 - ii. Pada beban 20%
 - iii. Pada beban 40%
 - iv. Pada beban 60%
 - v. Pada beban 80%
 - vi. Pada beban 100%
- d. Variabel Kontrol
 - i. *Analog Set Up*
 - ii. *Engine Set Up*
 - iii. *Angel Sensor Set Up*
 - *Top Dead Center Detection*
 - *Thermodynamics Set Up*
 - *Knock Detection Set Up*
- e. Variabel Hasil
 - i. *Ignition Delay*
 - ii. *Heat Release*
 - iii. *Maximum Pressure*
 - iv. *Knock Detection*

3.4. Eksperimen Analisis Proses Pembakaran

Eksperimen ini dilakukan setelah tahap-tahap sebelumnya sudah terlaksana. Eksperimen ini menggunakan mesin *Yanmar TF85-MH* yang berada di Laboratorium Power Plant FTK ITS serta mesin analisis proses pembakaran yaitu *Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU dengan Entry Level Cards*. Dalam eksperimen ini dibagi menjadi 2 kali eksperimen, yang pertama dilakukan dengan bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dan biodiesel umbi porang (*Amorphopallus Oncophyllus*).

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan Eksperimen analisis proses pembakaran. Hasilnya diperoleh beberapa data dari biodiesel umbi porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dan minyak kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*). Adapun datanya sebagai berikut:

- a. Data *Maximum Pressure*,
- b. *Ignition Delay*,
- c. *Knocking* dan
- d. *Heat Release* dari Solar (100%), 20% (BCPO & BAO) pada beban 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% serta RPM 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200.

3.6. Analisa & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah analisa pada proses pembakaran dua biodiesel umbi porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*). Selain itu juga menganalisa hasil dari eksperimen tersebut dengan membandingkan diantara kedua biodiesel umbi porang (*Amorphopallus Oncophyllus*) dengan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) tersebut.

3.7. Kesimpulan & Saran

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

ANALISA & PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan cara melakukan analisis proses pembakaran, hasil proses pembakaran yang dihasilkan serta perbandingan dari hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) dari biodiesel minyak umbi porang (*A. Oncophilus*) dan biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) serta Pertamina Dex yang sudah bagus kualitasnya.

4.1. Perencanaan Analisis Proses Pembakaran

Tahapan pertama sebelum melakukan analisis proses pembakaran yaitu mempersiapkan bahan bakar yang akan dianalisis seperti D100 (Pertamina Dex), BCPO20 (20% Minyak Kelapa Sawit dan BCAO20 (20% Minyak Umbi Porang) seperti pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1. Biodiesel CPO & CAO 20%

Proses pembuatan minyak menjadi biodiesel akan dijelaskan pada Lampiran, namun sebelum minyak umbi porang (*A. Oncophilus*) diolah melalui proses transesterifikasi sehingga menjadi Biodiesel Umbi Porang, dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik dari minyak umbi porang tersebut. Adapun hasil pengujian di Laboratorium LPPM ITS Surabaya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Laboratorium pada Minyak Umbi Porang

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
Flash Point	333	°C	ASTM D 92-45
Pour Point	5		ASTM D 92-02
Angka Cetane	0	-	Cetane Meter
Viscosity at 40°C	41,60	Cst	ASTM D 445

Kemudian setelah melalui proses Transesterifikasi akhirnya minyak umbi porang menjadi biodiesel umbi porang dan dilakukan pengujian ulang di Laboratorium. Adapun hasilnya sebagai berikut:

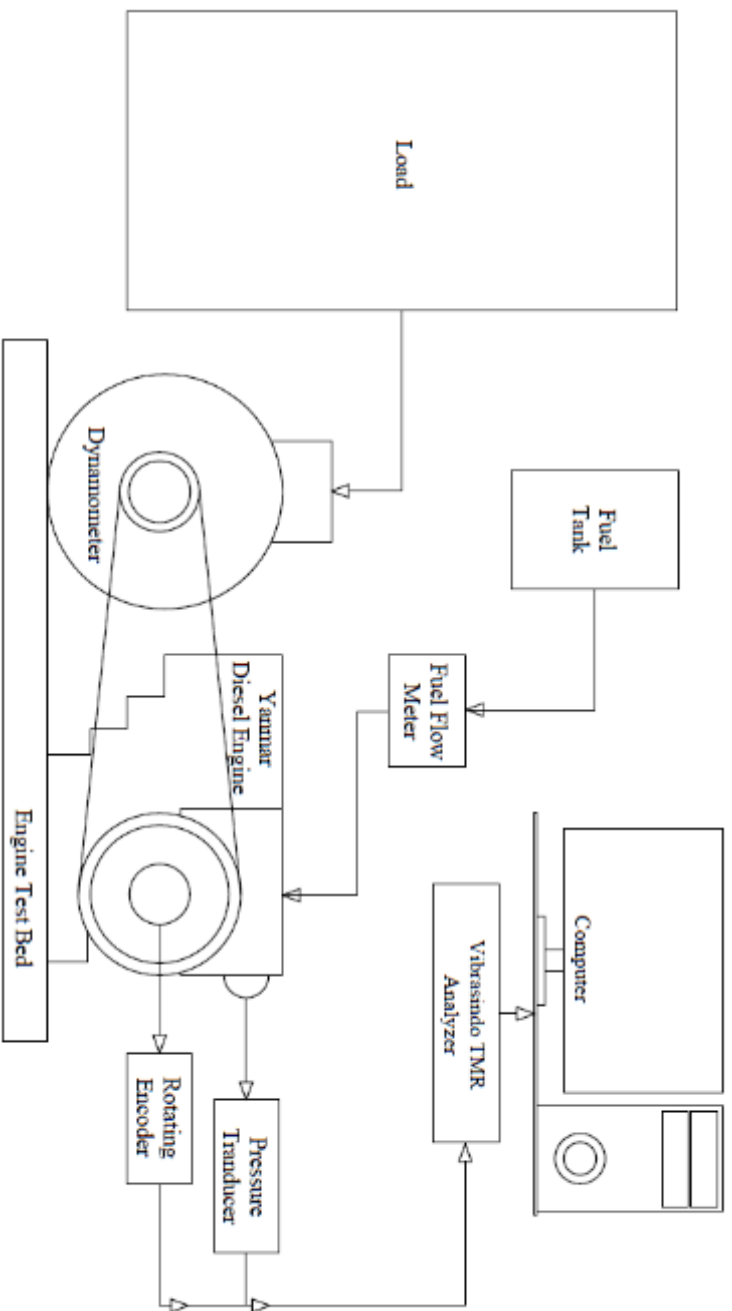
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Laboratoium pada Biodiesel Umbi Porang

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian	SNI
Water Content	0,01	%	ASTM D 1796	Max 0,05%
Desity at 15°C	0,85	gr/cm ²	ASTM D 1480-81	850 – 890 kg/m ³
Viscosity	3,56	Cst	ASTM D 445	2,3 – 6 Cst
Flash Point	77	°C	ASTM D 93	Min 100°C
Pour Point	-2	°C	ASTM D 97-85	Max 18°C
Lower Heating Value	36,908,934	J/kg	ASTM D 240	Max 42,537.849 J/kg

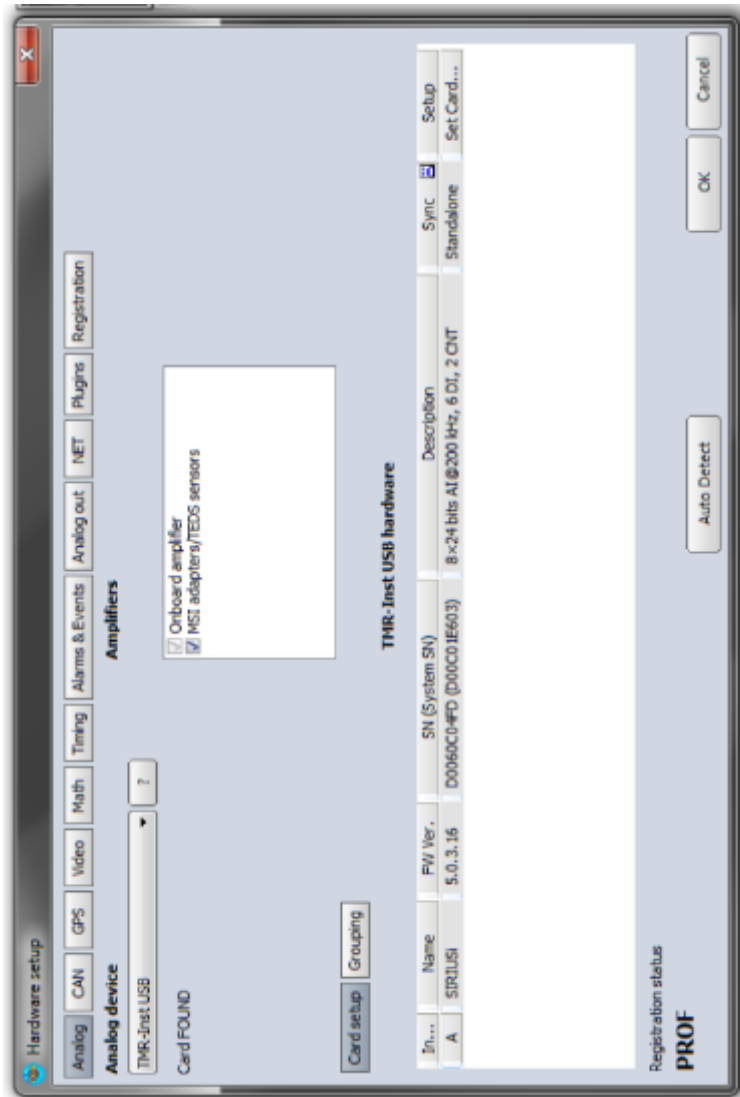
Selanjutnya melakukan *Setup* hardware dan software analisis proses pembakaran yaitu Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU dengan Software SYSMONSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis. Selain itu juga melakukan *Engine Setup* yang dikomparasikan dengan hardware dan software tersebut seperti pada Gambar 4.2 dibawah ini. Pemasangan *Pressure Tranducer* serta *Rotating Encoder*. Selanjutnya pemasangan *Pressure Tranducer* dan tempat *Rotating Encoder* yang nantinya dipasang pada mesin Yanmar ke hardware seperti pada gambar 4.3 (TMR-Instrument).



Gambar 4.2. Lokasi Pemasangan Pressure Tranducer & Rotating Encoder

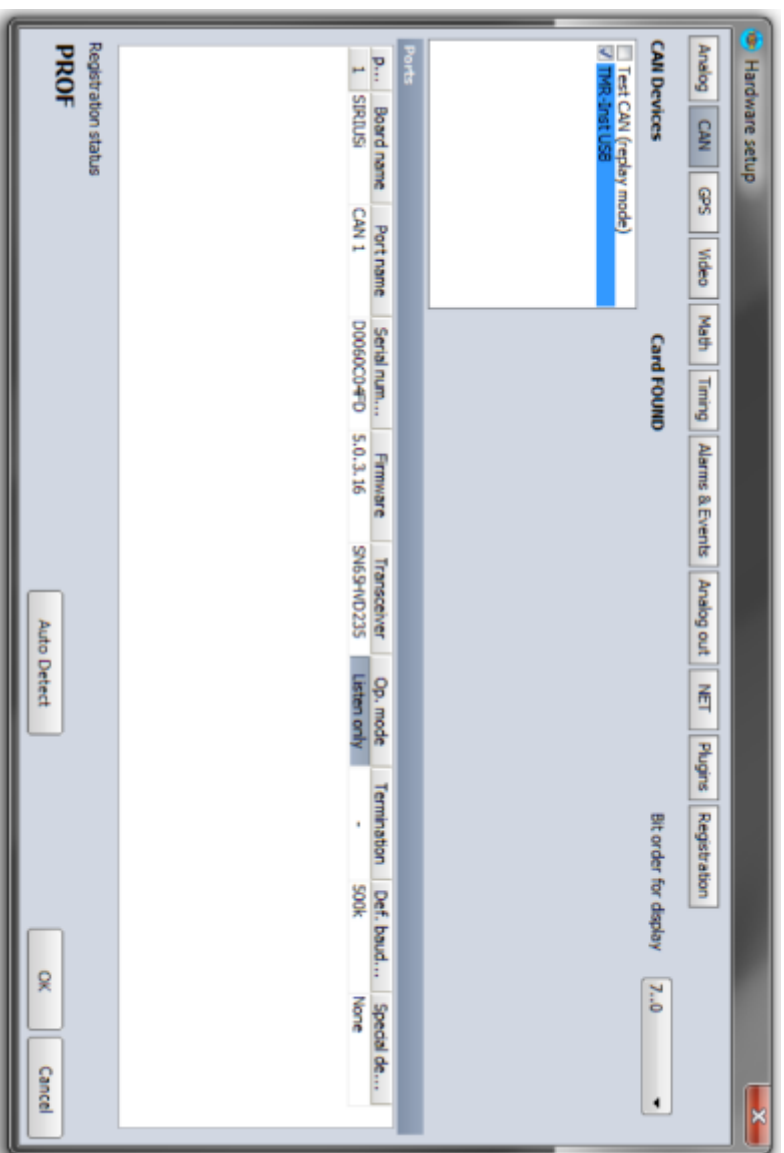


Gambar 4.3. Engine Setup Analisis Proses Pembakaran

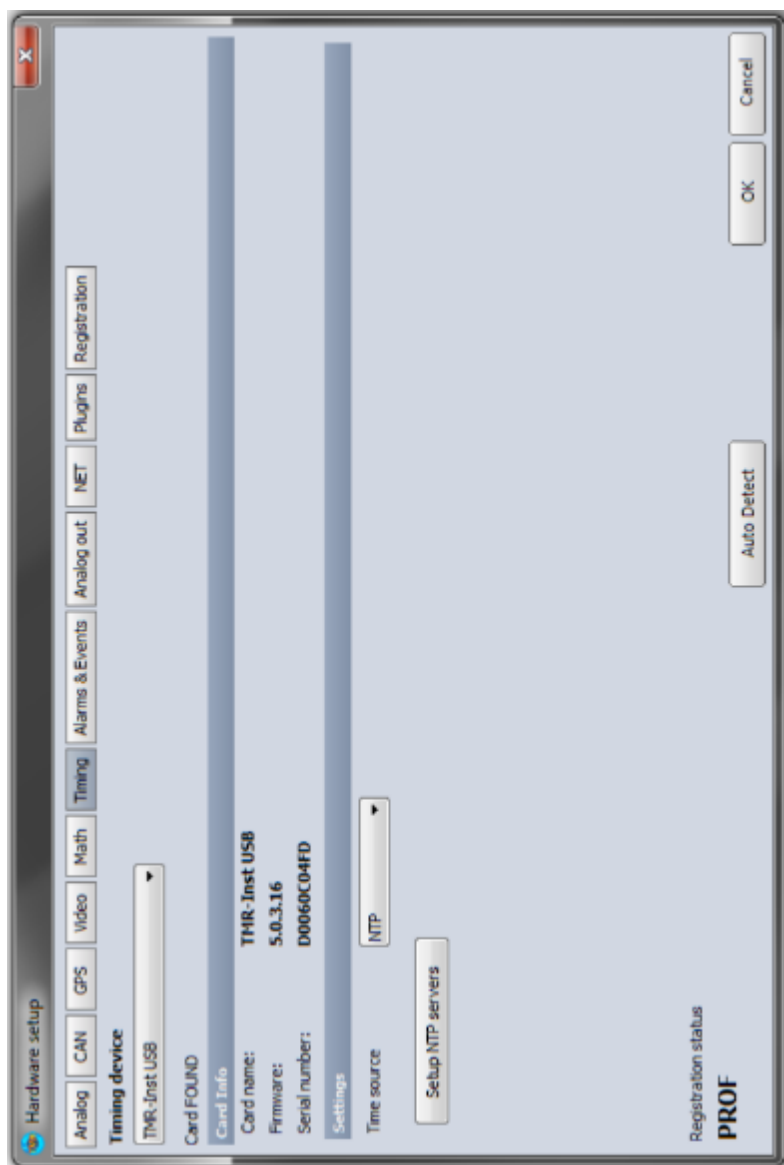


Gambar 4.4 . Analog Device Hardware Setup

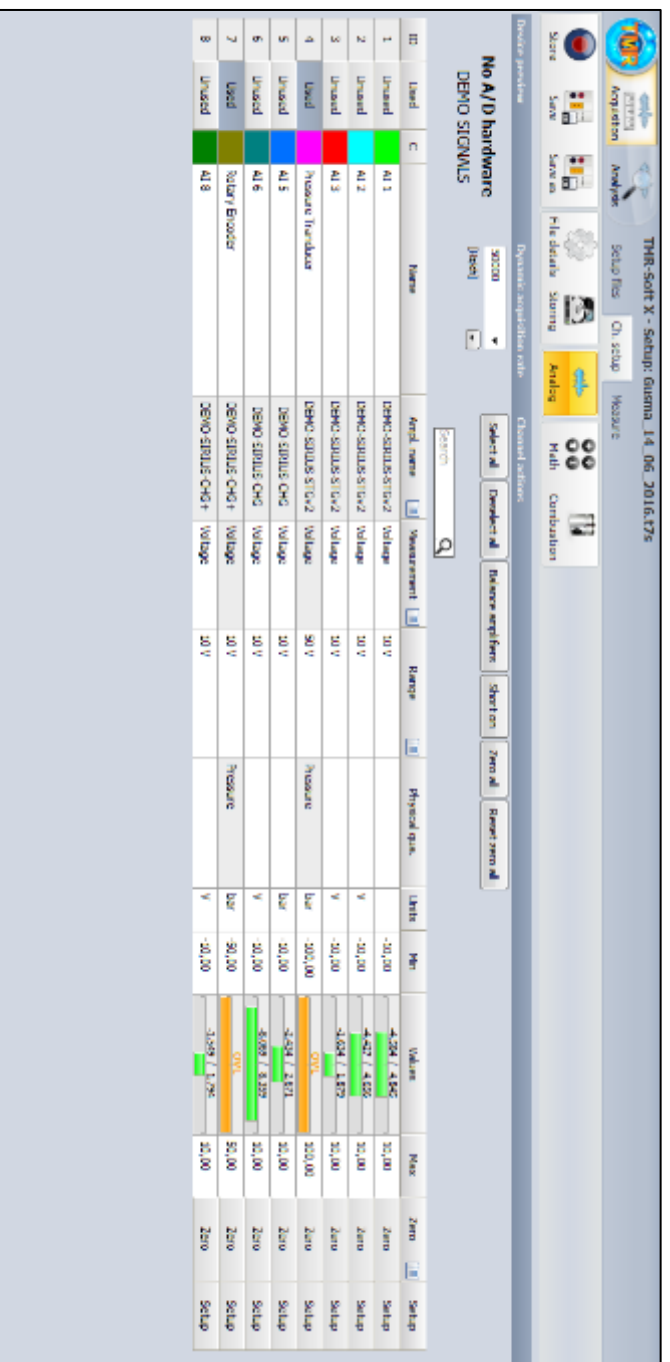
Proses Hardware Setup dilakukan untuk menyambungkan antara device yang terinstal software dengan hardware (*Analyzer*) yang terhubung dengan mesin seperti pada Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 dibawah ini



Gambar 4.5 . CAN Device Hardware Setup



Gambar 4.6. Timing Device Hardware Setup



Gambar 4.7. Analog Signal Hardware Setup

Proses selanjutnya yaitu melakukan *Analog Setup di "Acquisition Bar"*. Dari *Device Preview* yang tersedia, 2 yang digunakan untuk *Pressure Transducer* dan *Crank Angle Encoder*. Kemudian menentukan satuan dari *Dynamic Acquisition Rate* yaitu 50.000 Hz/ch dimana berfungsi sebagai data akuisisi. Semakin tinggi satuan semakin teliti hasil analisis yang dibaca oleh alat tersebut

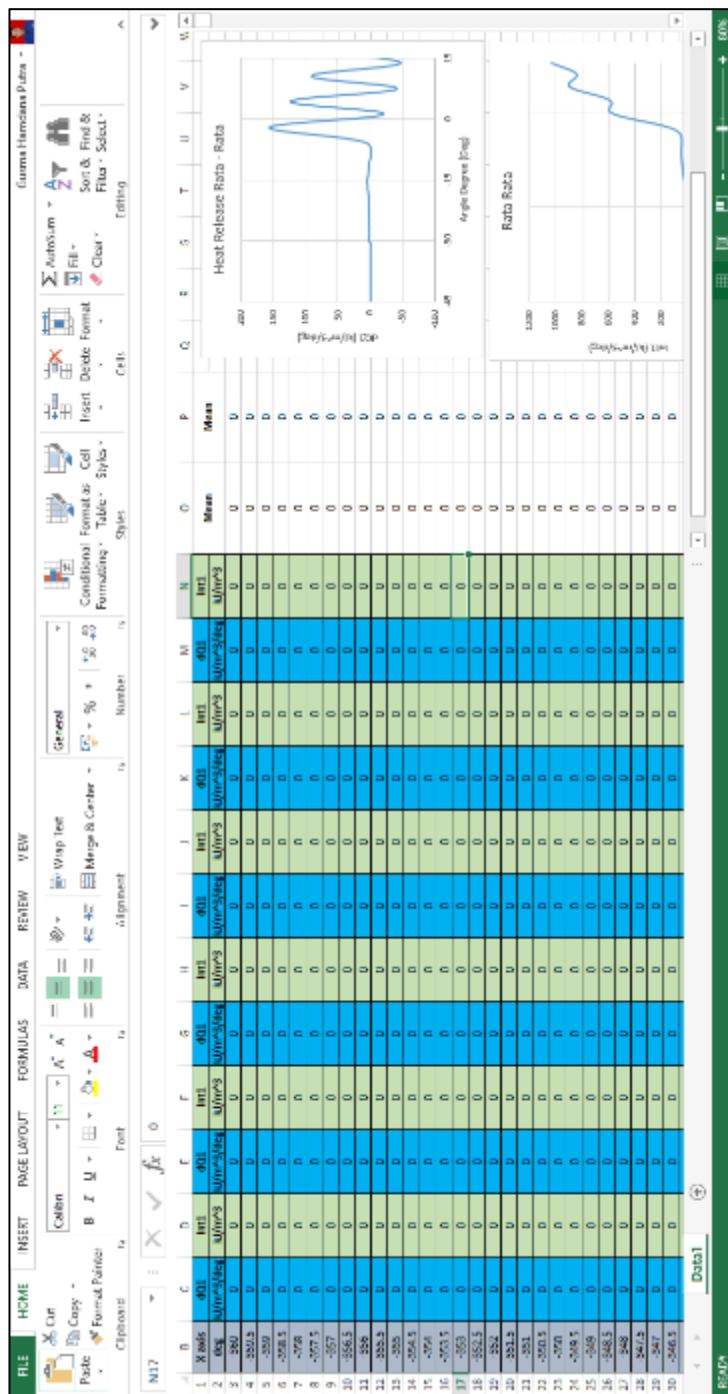
Setelah proses *Analog Setup* selesai maka selanjutnya menentukan parameter pada “Combustion Bar” seperti:

- a. *Basic Parameter* yang terdiri dari karakteristik mesin *Yanmar TF85-MH*.
- b. *Angle Sensor Type* : yaitu *Encoder – 1000; Connected to* (yaitu pada *Rotation Encoder* di *Ch7*); *Resolution* (Semakin rendah semakin jelas tingkat ketelitian analisisnya) yaitu *0.5 deg; 720p/rev*
- c. *Outputs* : Yaitu *Max. Pressure, Heat Release, MEP, Work, Power, Torque, Knock Detection.* \
- d. *Top Dead Center Detection*. Proses tersebut dilakukan untuk mengkalibrasi agar tekanan yang dihasilkan sesuai dengan derajat saat mesin dalam keadaan kompresi dan kerja.

Data proses pembakaran dapat diambil ketika *hardware setup, analog setup, engine setup* sudah terhubung dan mesin dalam keadaan hidup. Data tersebut bisa ditampilkan pada layar monitor pada “*Measure Bar*” dengan menyeting sesuai dengan kebutuhan apa saja yang dibutuhkan.

4.2. Analisis Hasil Proses Pembakaran

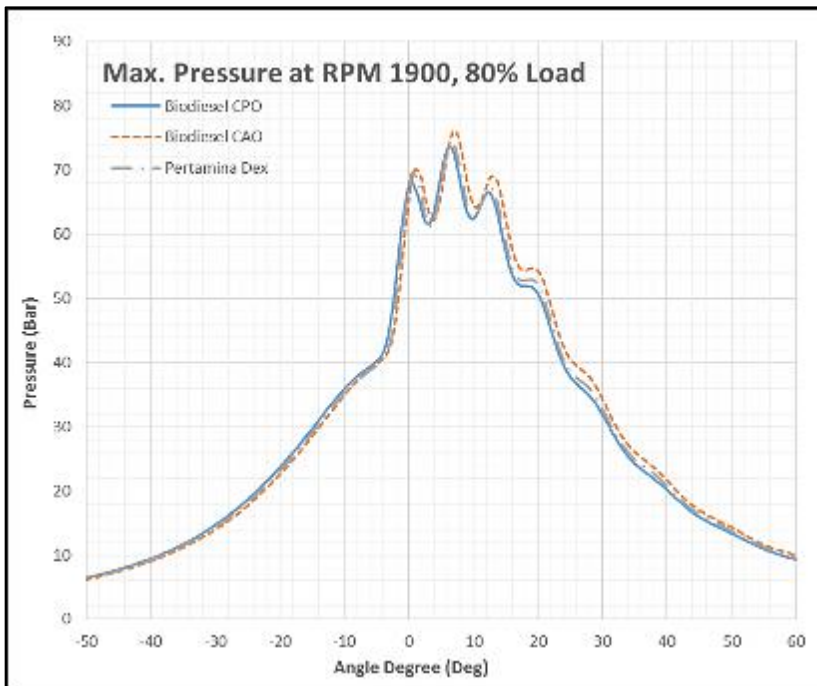
Hasil analisis proses pembakaran yaitu berupa grafik yang terletak dalam “*Analysis* di *Main Bar*” yang dapat diekspor menjadi angka (excel). Dalam proses ekspor dibagi menjadi 2 versi yaitu data berupa skalar dan data berupa vector. Dimensi skalar yaitu data single yang mengacu pada hasil akhir tanpa acuan derajat. Dan dimensi vektor yaitu menggunakan acuan derajat sehingga hasilnya lebih rinci seperti pada Gambar 4.7 dan 4.8 dibawah ini.



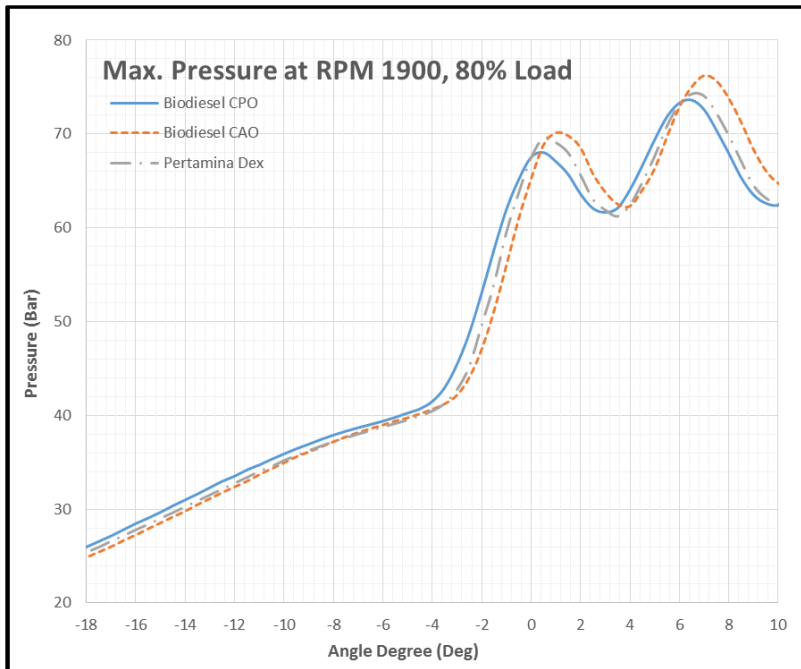
Gambar 4.9. Hasil Analisis Proses Pembakaran

4.3. Pengaruh Bahan Bakar terhadap *Maximum Pressure*

Dari beberapa variabel baik variabel RPM ataupun variabel pembebanan, masing-masing memiliki bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar terhadap *Maximum Pressure* adalah sebagai berikut:



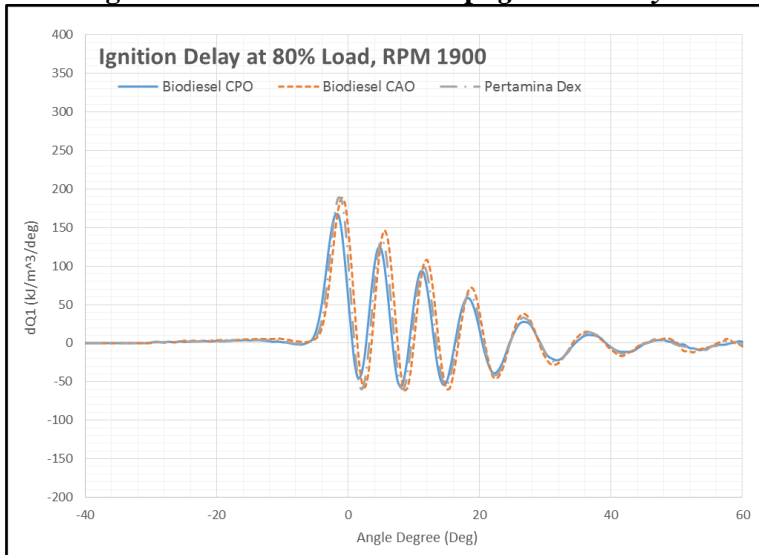
Gambar 4.10. Grafik *Max. Pressure at RPM 1900, 80% Load*



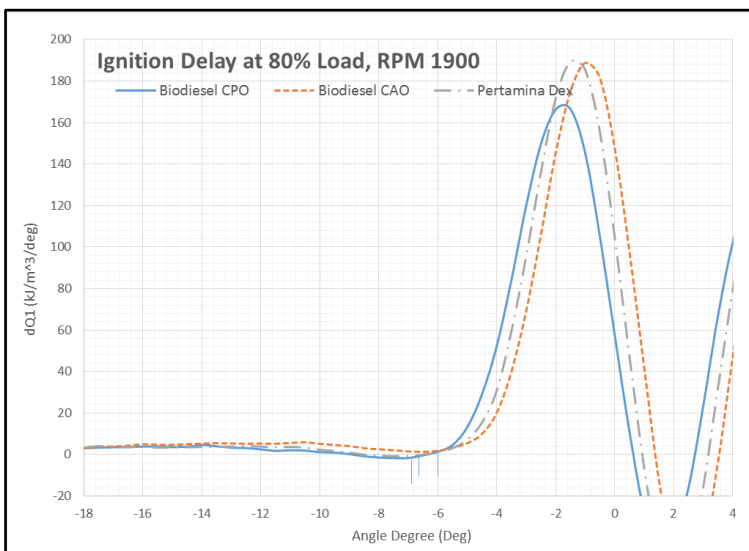
Gambar 4.11. Grafik *Max. Pressure at RPM 1900, 80% Load (Zoom)*

Grafik pada Gambar 4.10 dan 4.11 diatas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Maximum Pressure*. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara Biodiesel CPO, Biodiesel CAO dan Pertamina Dex. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis putus-putus berwarna merah yaitu Biodiesel CAO berada pada titik teratas yaitu pada nilai 75.2 bar dan posisi 7.6° setelah TMA, kemudian disusul oleh garis panjang titik berwarna ungu yaitu Pertamina Dex dengan nilai 73.8 bar pada 6.9° setelah TMA dan terakhir garis lurus berwarna biru yaitu Biodiesel CPO dengan nilai 73.1 bar pada posisi 6.3° setelah TMA.

4.4. Pengaruh Bahan Bakar terhadap *Ignition Delay*



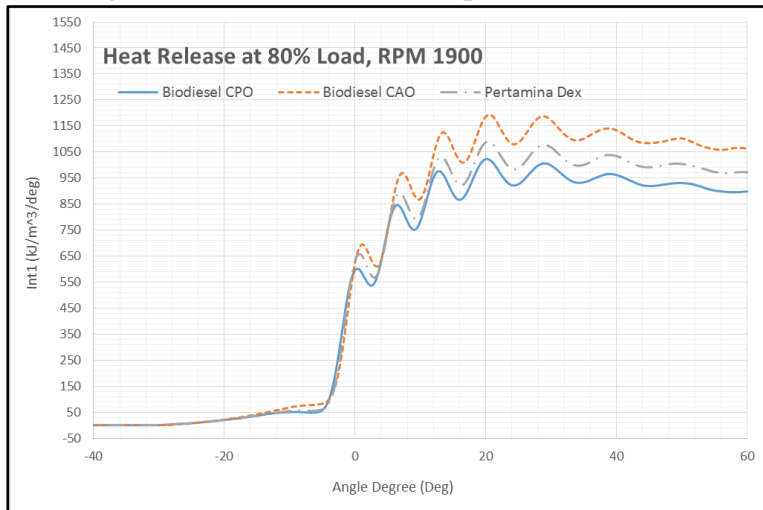
Gambar 4.12. Grafik *Ignition Delay at RPM 1900, 80% Load*



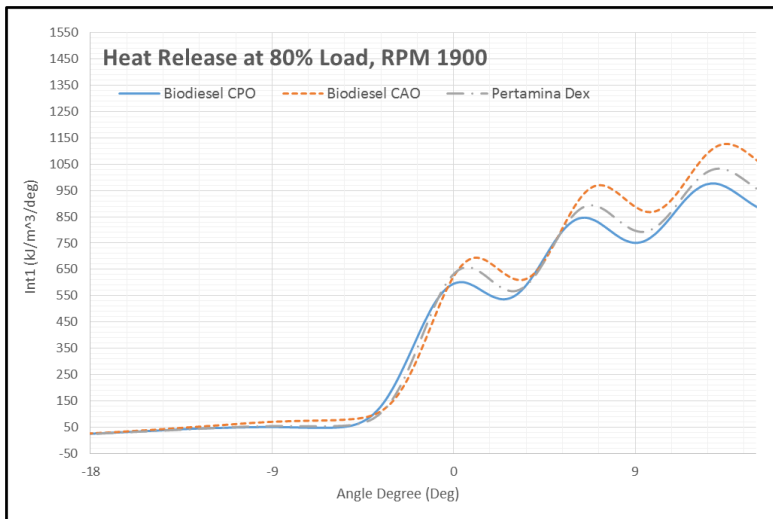
Gambar 4.13. Grafik *Ign. Delay at RPM 1900, 80% Load (Zoom)*

Grafik pada Gambar 4.12 dan 4.13 diatas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Ignition Delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara Biodiesel CPO, Biodiesel CAO dan Pertamina Dex. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis putus-putus berwarna merah yaitu Biodiesel CAO berada pada titik terjauh yaitu posisi 6.1^0 sebelum TMA dengan energi sebesar $0.20 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$, kemudian disusul oleh garis panjang dan titik berwarna ungu yaitu Pertamina Dex pada posisi 6.7^0 sebelum TMA dengan energi sebesar $-0.10 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ serta terakhir garis lurus berwarna biru yaitu Biodiesel CPO pada posisi 7.1^0 setelah TMA dengan energi sebesar $-0.08 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$.

4.5. Pengaruh Bahan Bakar terhadap *Heat Release*



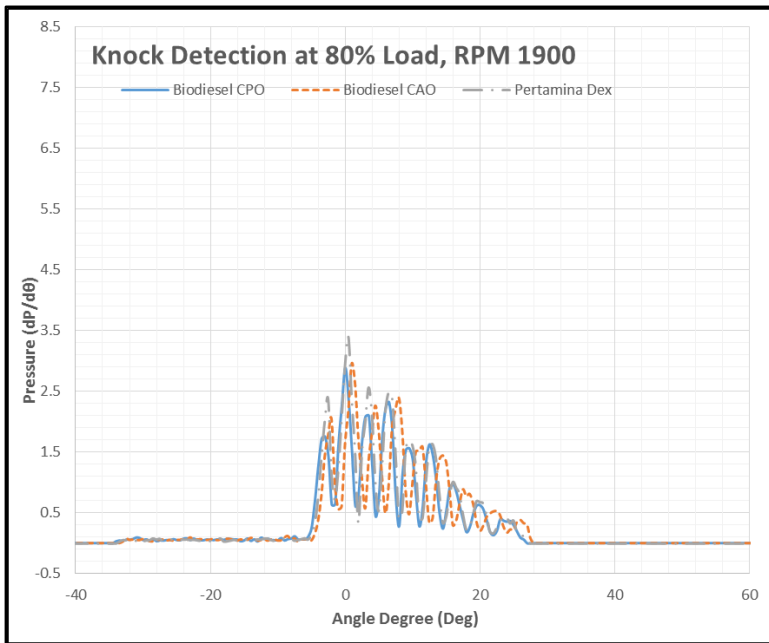
Gambar 4.14. Grafik *Heat Release at RPM 1900, 80% Load*



Gambar 4.15. Grafik *Heat Release at RPM 1900, 80% Load (Zoom)*

Grafik pada Gambar 4.14 dan 4.15 diatas menunjukkan salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Heat Release*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara Biodiesel CPO, Biodiesel CAO dan Pertamina Dex. Dari karakteristik Mesin Yanmar TF-85 ini bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis putus-putus berwarna merah yaitu Biodiesel CAO berada pada titik tertinggi yaitu dengan energi sebesar $1190 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ dan posisi 22.1^0 sebelum TMA, kemudian disusul oleh garis panjang dan titik berwarna ungu yaitu Pertamina Dex dengan energi sebesar $1098 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ dan pada posisi 21.1^0 sebelum TMA serta terakhir garis lurus berwarna biru yaitu Biodiesel CPO dengan energi sebesar $985 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ dan pada posisi 20.8^0 setelah TMA.

4.6. Pengaruh Bahan Bakar terhadap *Knock Detection*



Gambar 4.16. Grafik *Knock Detection at RPM 1900, 80% Load*

Gambar 4.16 diatas adalah salah satu dari beberapa variabel grafik yang dilakukan yaitu grafik perbandingan *Knock Detection*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara Biodiesel CPO, Biodiesel CAO dan Pertamina Dex. Dari gambar tersebut bisa diketahui bahwa garis panjang dan titik berwarna ungu yaitu Pertamina Dex berada pada titik tertinggi dengan nilai 3.8 bar dan pada posisi 0.1° sebelum TMA kemudian garis putus-putus berwarna merah yaitu Biodiesel CAO yaitu dengan nilai 2.9 bar dan posisi 0.2° sebelum TMA, serta terakhir garis lurus berwarna biru yaitu Biodiesel CPO dengan nilai 2.7 bar dan pada posisi 0.0° setelah TMA.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses Pembuatan Biodiesel Umbi Porang

Umbi porang (*Amorphophallus Oncophyllus*) merupakan tumbuhan sejenis umbi yang banyak ditanam di daerah Kabupaten Madiun Jawa Timur. Tumbuhan ini berbeda dengan tumbuhan yang semarga lainnya karena hanya umbi ini yang tidak bisa dimakan (*Nonedible Oil*). Meski tidak dapat dimakan, tumbuhan ini banyak diolah menjadi bahan baku lainnya seperti lem, cat, kain katun, wool serta menjadi bahan baku pembuatan mie di luar negeri. Tumbuhan ini diambil minyaknya sebagai bahan baku biodiesel dengan bantuan katalis methanol dalam proses transesterifikasi.

Dalam pembuatan biodiesel umbi porang diperlukan persiapan bahan dan alat. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Umbi porang
2. Methanol
3. H_2SO_4
4. KOH
5. Aquades
6. Kompor gas
7. Thermometer
8. Pippet
9. Panci stainless steel
10. Timbangan
11. Gelas ukur
12. Pisau

Dalam proses produksi umbi porang ini, proses transesterifikasi melalui beberapa tahapan diantaranya sebagai berikut:

a. Pengolahan Umbi Porang Menjadi Minyak Porang

Daging umbi porang yang telah matang dikupas kulitnya, lalu di bilas dengan air. Kemudian diparutkan dengan mesin parutan kelapa supaya mudah dalam pemrosesannya. Peras hasil parutan umbi porang tersebut dengan diberi air supaya minyak mudah larut dengan air. Panaskan sari hasil perasan diatas api kecil dan aduk secara terus menerus. Yang diambil hanyalah sari dari umbi porang tersebut. Umbi porang sebanyak 15 kg akan didapatkan minyak sebanyak 1 liter..



Gambar Minyak Umbi Porang

b. Pemanasan serta Proses Titirasi

Setelah minyak didapatkan, menuangkan minyak porang sebanyak 1 liter kedalam panci *Stainless Steel*. Panaskan minyak tersebut dengan suhu yang sedang yaitu 35 – 40 °C dengan tujuan lemak beku mencair semua. Takar bahan kimia methanol sebanyak 0,08 ml setiap 1 liter minyak porang dengan gelas ukur, kemudian campurkan kedalam minyak yang telah dipanaskan serta aduk selama 5 menit. Kemudian melakukan proses titrasi dengan menambahkan 0,5% ml H₂SO₄ pada setiap 1 liter minyak porang seperti pada gambar 6.2. dibawah berikut. Proses titrasi dilakukan

untuk mengonversi kandungan minyak porang menjadi asam lemak (*Triglicerida*) yang selanjutnya akan dibuat menjadi biodiesel.



Gambar Proses Titrasi

c. Pembuatan dan Penambahan Larutan Metoksid

Pada proses ini pembuatan metoksid didapat dari campuran larutan metanol sebanyak 12% dari volume minyak porang dengan katalis KOH sebanyak 3,5 gram setiap 100 ml minyak porang kemudian diaduk secara merata. Campuran tersebut merubah kandungan asam lemak (*Triglicerida*) menjadi *Metil Ester*. Gambar 6.3. dibawah merupakan larutan metoksid yang digunakan untuk mengubah minyak menjadi biodiesel.



Gambar Larutan Metoksid

d. Proses Transesterifikasi (Pencampuran Metoksid)

Proses ini dilakukan dengan memanaskan minyak dengan suhu sekitar 50 - 55°C agar tidak terlalu kental saat pencampuran dengan larutan metoksid. Pada saat pencampuran minyak diaduk dengan rata dan stabil karena kunci dari keberhasilan proses ini adalah adukan, suhu, katalis dan perubahan serta waktu reaksi yang tepat. Proses pencampuran seperti gambar 6.4. dibawah, harus dilakukan di media yang terbuat dari kaca atau *Stainless Steel*, selain itu tidak direkomendasikan karena dapat mempengaruhi proses kimiawi dari hasil pencampuran minyak dengan larutan metoksid tersebut. Pengadukan dilakukan berlangsung sekitar 1 jam, diamkan agar terjadi pemisahan antara gliserin dan biodiesel (*Ester*).



Gambar Pencampuran Larutan Metoksid dengan Minyak Umbi Porang

e. Proses Pencucian

Setelah proses transesterifikasi, selanjutnya adalah menuangkan minyak biodiesel tersebut ke dalam botol dan dicampur dengan 100 ml aquades dalam setiap liter minyak biodiesel tersebut. Lakukan pengocokan dengan perlahan dan biarkan selama 24 jam. Proses seperti gambar 6.5. dibawah, akan menghilangkan sisa katalis yang masih ada dengan cara pengelembungan.



Gambar Proses Pencucian Biodiesel Umби Porang

f. Proses Pengeringan

Proses yang terakhir yaitu proses pengeringan dari sisa-sisa air pencucian dengan cara dimasak (dipanaskan) dengan suhu pemanasan 90°C.



Gambar Pengeringan Biodiesel Umби Porang

Lampiran 2. Produksi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit (CPO)

Dalam perkembangannya, kelapa sawit telah banyak diproduksi di berbagai tempat dengan berbagai kemasan yang berbeda-beda. Cara mendapatkannya sangat mudah, bisa membeli di pengepul minyak kelapa sawit dalam jumlah yang besar (minimal 2 ton). Namun, dikarenakan hanya membutuhkan minyak tersebut dalam jumlah yang tidak banyak (2 liter), akhirnya dilakukannya cara membuat minyak kelapa sawit dengan alat-alat laboratorium dengan membeli minyak kelapa sawit di toko. Adapapun alat-alatnya adalah sebagai berikut:

1. Minyak Kelapa Sawit
2. Metanol
3. Aquades
4. KOH
5. Fenolftalein
6. Neraca
7. Tabung Elenmeyer
8. Gelas Ukur
9. Pemanas
10. Buret
11. Pipet
12. Spatula
13. Timbangan Analitik
14. Pengaduk Kaca
15. Hot Plate
16. Magnet Stirer
17. Corong Pemisah
18. Termometer

a. Pengujian Feat Fatty Acid (FFA)

Dalam pengujian ini menimbang sampel minyak sebanyak 20 gram ditambahkan dengan 100 ml metanol kemudian dipanaskan sampai mendidih sambil diaduk. Kemudian di titrasi dengan KOH

sebanyak 0,1 ml dengan menambahkan indikator fenolftalein sampai berwarna merah jambu. Warna merah jambu itu harus bertahan minimal 30 menit.

b. Proses Transesterifikasi

Proses ini dilakukan dengan mengambil sampel minyak sebanyak 2 liter kedalam tabung elenmeyer, lalu dipanaskan hingga suhunya mencapai 55 – 60°C. Kemudian membuat larutan metoksid yaitu campuran katalis basa KOH sebanyak 40 gram dengan metanol sebanyak 2 liter. Setelah membuat larutan metoksid, tambahkan larutan tersebut ke dalam sampel minyak yang sudah dipanaskan tadi sedikit demi sedikit dan diaduk secara merata selama 1 jam. Angkat sampel yang sudah dipanaskan selama 1 jam, pindah ke labu pemisah dan diamkan di suhu ruangan hingga separasi terjadi. Disitulah biodiesel dari minyak kelapa sawit didapatkan.

c. Proses Pencucian

Proses ini bertujuan memisahkan biodiesel dengan gliserin yang dilakukan dengan cara memanaskan aquades hingga suhunya mencapai 60°C, kemudian tuangkan biodiesel minyak kelapa sawit dan dikocok sampai rata. Setelah selesai dikocok maka terakhir diletakkan di labu pemisah dan diamkan selama 24 jam hingga terjadi separasi antara biodiesel dengan gliserinnya.

Lampiran 3. Hasil Uji Properties Umbi Porang

	<p>KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111 Telp : 031 - 5953759, 5938940, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405 http://www.lppm.its.ac.id</p>
<p style="text-align: center;"><u>SURAT PENGANTAR</u> No 023625 /IT2.11.1/TU.00.09/2016</p>	
<p>Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa pengujian contoh telah dilakukan oleh Laboratorium Energi – LPPM ITS (Jl.Teknik Kimia, Belakang Gedung Pasca Sarjana ITS & Jl. Teknik Kimia Gedung Robotika It2 Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111) dengan rincian sebagai berikut:</p>	
<ol style="list-style-type: none">1. Nama Pelanggan2. Alamat Pelanggan3. Kegiatan Pengujian<ol style="list-style-type: none">a. Contoh diterima tanggalb. Contoh diuji tanggalc. Contoh selesai diuji tanggald. Jumlah dan jenis yang diujie. Standar Metode yang digunakanf. Laporan Hasil Pengujian	<p>:</p> <p>Gusma Hamdana Putra</p> <p>Jl. Gebang Wetan gang 1/6 Surabaya</p> <p>:</p> <p>30 Maret 2016</p> <p>01 April 2016</p> <p>08 April 2016</p> <p>1 (satu) / Terlampir</p> <p>Terlampir</p> <p>Terlampir</p>
<p>Demikian surat ini, atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.</p>	
<p>Mengetahui, Ketua LPPM</p>  <p><u>Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT</u> NIP. 19640405 199002 1 001</p>	<p>Surabaya, 14 APR 2016</p> <p>Kepala Laboratorium Energi</p>  <p><u>Yatim Lalilon Ni'mah, Ph.D</u> NIP. 19840524 200812 2 006</p>
<p>F:\E-7126-12-01 - Laporan Hasil Pengujian Halaman: 1 dari 2</p>	

Gambar Surat Pengantar Hasil Uji Laboratorium



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT

Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111

Telp : 031 - 5953759, 5936940, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405

<http://www.lppm.its.ac.id>

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Gusma Hamdana Putra

Alamat
Pemilik : Jl. Gebang Wetan gang I/6 Surabaya

Nama Contoh : **Biodiesel Umhi Porang** Tanggal Terima : 30 Maret 2016
Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gms Tanggal Pengujian : 01 April 2016
Contoh Volume : - Tanggal Selesai :
Kemasan : Botol Pengujian : 08 April 2016
Kode Contoh : **EN-0012** Jumlah Contoh : 1 (satu)

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Biodiesel Umhi Porang	Flash Point	333	°C	ASTM D-92-05
		Pour Point	5		ASTM D-92-02
		Angka Cetane	0	-	Cetane Meter
		Viscositas at 40°C	41,60	Cst	ASTM D-445-97

Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan sebagian tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,
Manajer Teknis

Vita Yuliana, S.Si
NIP 914014001

Gambar Hasil Uji Laboratorium

Lampiran 4. Pengambilan Data Pra-Eksperimen

Sebelum melakukan pengambilan data pada mesin yang akan digunakan sebagai eksperimen, pra-eksperimen dilakukan pada tempat yang berbeda yang sebelumnya telah dilakukan analisa proses pembakaran, yaitu mesin *Hamburger Motorenwerke Carl Jastram* dengan kontruksi 3 silinder dan 4 langkah, memiliki daya nominal 66 kW.

Sebuah pengaturan dilakukan dari hardware (sensor) serta software (*Data Analysis*) pada mesin Jastram agar dapat melakukan pengolahan data saat mesin dihidupkan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan saat pengaturan adalah sebagai berikut:

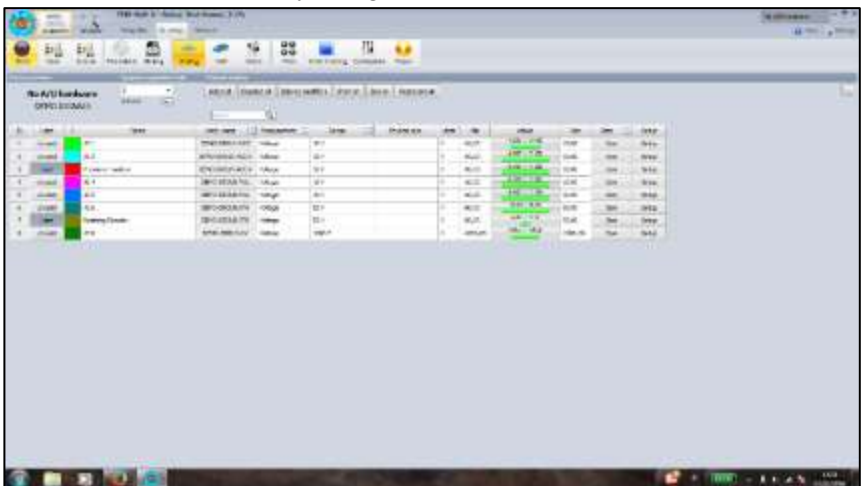
- a. Pemasangan *Pressure Tranducer* serta *Rotating Encoder* yang tersambung di mesin Jastram ke hardware (TMR-Instrument).



Gambar *Pressure Tranducer*

-
- A hand is shown applying a tube of 'Epoxy' to the terminals of a battery pack. The battery pack is a black plastic case with several terminals on top. A black cable is connected to one of the terminals. The epoxy is being applied to the terminals, likely to seal them or provide a conductive path.

- c. Melakukan setting di software dengan analog yang masuk ke dalam hardware. Setelah itu menyetting kondisi engine yang akan di analisa pembakarannya seperti tipe engine (Otto atau Diesel), jumlah silinder, panjang piston, stroke, dan masih banyak lagi.



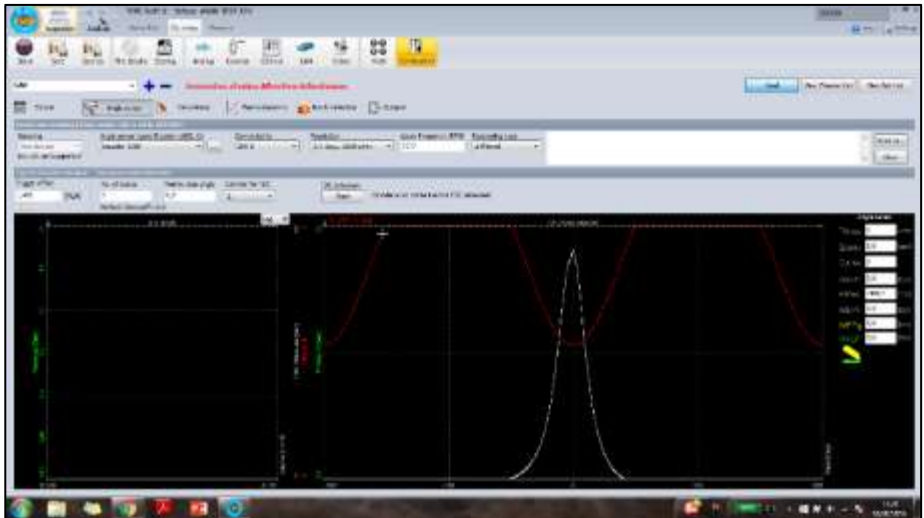
Gambar Setting Analog In & Engine Properties

-

The screenshot shows the NI-MATLAB interface for a control system simulation. The top panel displays numerical data: 0.021, 0.019, 12555, 10869, 11975, -1330, and -0.1. The middle panel shows a plot of the system response, and the bottom panel shows a plot of the control signal. The right sidebar lists various system components like 'Control System', 'Plant', 'Controller', etc.

Gambar Hasil *Engine Propesties*

- e. Menyajikan data setelah merekam semua variabel-variabel dari mesin Jastram seperti *Heat Release*, *Knock Detection*, *Maximum Pressure*, *Ignition Delay*..



Gambar Hasil *Combustion Process*

Lampiran 5. Tabel Performansi Biodiesek CPO, CAO, Pertamina Dex

Biodiesel CAO 20%

Putaran Engine (rpm)	Beban (watt)	Putaran Aluminiatur (Rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (Menit)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (g/cm3)	Efisiensi Ship (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/kg)	ET Thermal (%)	
			Tegangan n (Volt)	Arus (Ampere)														
1800	1805	0	1305	6	0	0.00001	2.110	126.6	0.0352	830000	0.9905	0.0000	256.0190	0.0000	0.00	41.412.10	0.0000	
1800	1800	1000	1302	182	3	0.00001	0.932	55.9	0.0155	830000	0.9910	0.5854	554.5259	916.2450	3.0880	12527.22	41.412.10	9.4878
1800	1799	2000	1295	189	6.6	0.00001	0.777	46.6	0.0129	830000	0.9862	1.3393	641.2017	478.7673	7.1087	28638.48	41.412.10	18.1573
1800	1801	3000	1295	191	10	0.00001	0.612	36.7	0.0102	830000	0.9851	2.0530	814.1689	396.5831	10.9029	44230.70	41.412.10	21.9200
1800	1805	4000	1293	189	13.5	0.00001	0.463	27.8	0.0077	830000	0.9814	2.7528	1074.8201	390.4438	14.6054	59245.16	41.412.10	22.2647
1800	1800	4500	1291	184	14.9	0.00001	0.445	26.7	0.0074	830000	0.9826	2.9543	1119.1011	378.8052	15.6375	63438.20	41.412.10	22.9488
1800	1805	5000	1289	184	16.8	0.00001	0.363	21.8	0.0061	830000	0.9784	3.3454	1370.6422	409.7035	17.7572	72037.16	41.412.10	21.2180
1900	1901	0	1379	178	0	0.00001	2.093	125.6	0.0349	830000	0.9938	0.0000	227.8981	0.0000	0.00	41.412.10	0.0000	
1900	1900	1000	1375	197	3.1	0.00001	0.967	58.0	0.0161	830000	0.9914	0.6522	515.1724	789.8975	3.2779	13297.63	41.412.10	11.0054
1900	1900	2000	1370	203	6.8	0.00001	0.713	42.8	0.0119	830000	0.9878	1.4796	698.1308	471.8412	7.4401	30182.98	41.412.10	18.4230
1900	1904	3000	1370	205	10.4	0.00001	0.545	32.7	0.0091	830000	0.9838	2.2900	913.7615	399.0215	11.5153	46715.14	41.412.10	21.7861
1900	1903	4000	1364	202	14	0.00001	0.368	22.1	0.0061	830000	0.9820	3.0493	1382.0362	433.3855	15.3014	62074.69	41.412.10	19.6062
1900	1902	4500	1362	197	15.5	0.00001	0.347	20.8	0.0058	830000	0.9810	3.2956	1456.5385	435.8960	16.5458	67122.83	41.412.10	19.9431
1900	1903	5000	1360	198	17.4	0.00001	0.328	19.7	0.0055	830000	0.9791	3.7258	1516.7513	407.0962	18.7154	75924.42	41.412.10	21.3539
2000	2000	0	1449	197	0	0.00001	2.193	131.6	0.0366	830000	0.9926	0.0000	227.0517	0.0000	0.00	41.412.10	0.0000	
2000	2004	1000	1447	210	3.3	0.00001	0.893	53.6	0.0149	830000	0.9892	0.7418	557.4627	751.5370	3.5455	14575.08	41.412.10	11.5671
2000	2005	2000	1445	217	7.1	0.00001	0.567	38.8	0.0108	830000	0.9874	1.6522	770.1031	466.1023	7.8770	31955.42	41.412.10	18.6506
2000	2003	3000	1438	218	10.8	0.00001	0.342	33.7	0.0094	830000	0.9836	2.5346	886.6469	349.8206	12.0777	48996.57	41.412.10	24.8502
2000	2000	4000	1432	215	14.5	0.00001	0.447	26.8	0.0074	830000	0.9809	3.3651	1114.9254	331.3213	16.0512	65116.37	41.412.10	26.2377
2000	2002	4500	1434	210	16.5	0.00001	0.408	24.5	0.0068	830000	0.9813	3.7387	1219.5918	326.2070	17.8601	72454.58	41.412.10	26.6491
2000	2005	5000	1432	209	18	0.00001	0.337	20.2	0.0056	830000	0.9785	4.0709	1497.2079	363.3591	19.4277	78814.07	41.412.10	25.9243
2100	2102	0	1525	215	0	0.00001	2.130	127.8	0.0355	830000	0.9939	0.0000	253.8038	0.0000	0.00	41.412.10	0.0000	
2100	2104	1000	1522	227	3.4	0.00001	0.898	53.9	0.0150	830000	0.9910	0.8246	554.5599	672.2843	3.7480	15204.80	41.412.10	12.9307
2100	2101	2000	1517	230	7.3	0.00001	0.658	38.3	0.0106	830000	0.9878	1.7998	780.1567	433.4789	8.1726	33154.53	41.412.10	20.0543
2100	2100	3000	1510	231	11.1	0.00001	0.457	27.4	0.0076	830000	0.9846	2.7573	1090.5109	395.4968	12.5708	50794.42	41.412.10	21.9802
2100	2105	4000	1507	228	15.5	0.00001	0.345	20.7	0.0058	830000	0.9808	3.8151	1443.4783	378.3571	17.3499	70381.26	41.412.10	22.9759
2100	2102	4500	1502	223	16.6	0.00001	0.333	20	0.0056	830000	0.9789	4.0039	1494.0000	373.1400	18.1726	73722.72	41.412.10	23.2972
2100	2100	5000	1499	225	17.5	0.00001	0.312	18.7	0.0052	830000	0.9779	4.2633	1597.8610	374.7984	19.3776	78610.98	41.412.10	23.1941
2200	2204	0	1591	240	0	0.00001	1.965	117.9	0.0328	830000	0.9890	0.0000	253.4351	0.0000	0.00	41.412.10	0.0000	
2200	2204	1000	1590	242	3.6	0.00001	0.815	48.9	0.0136	830000	0.9883	0.9333	611.0429	654.6910	4.0459	16413.40	41.412.10	13.2782
2200	2206	2000	1590	246	7.6	0.00001	0.617	37	0.0103	830000	0.9874	2.0047	807.5676	402.8272	8.6994	33525.20	41.412.10	21.5802
2200	2202	3000	1584	245	11.5	0.00001	0.458	27.5	0.0076	830000	0.9835	3.0271	1086.5455	358.9375	13.1190	53186.11	41.412.10	24.2190
2200	2201	4000	1572	241	16	0.00001	0.335	20.1	0.0056	830000	0.9785	4.1176	1486.5672	356.2681	18.1043	73445.45	41.412.10	24.4005
2200	2201	4500	1571	236	17.2	0.00001	0.318	19.1	0.0053	830000	0.9779	4.3953	1564.3979	355.9262	19.0791	77400.18	41.412.10	24.4239
2200	2187	5000	1558	232	19.1	0.00001	0.222	13.3	0.0037	830000	0.9760	4.8073	2246.6165	467.3296	20.8678	84668.51	41.412.10	18.6017

Gambar Hasil Performansi Biodiesek CAO 20%

Pertamina Dex

Putaran Engine		Bahan (watt)	Putaran Aluminator (Rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (Menit)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/kwh)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
(rpm)	(rpm) kontrol			Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)													
1800	1811	0	1312	163	0	0.00001	1.763	105.8	0.0294	830.000	0.9925	0.0000	282.4197	0.0000	0.0000	0.00	42.537.888	0.0000
1800	1810	1000	1308	183	3.5	0.00001	1.070	64.2	0.0178	830.000	0.9900	0.0850	465.4206	679.4423	3.6138	146601.21	42.537.888	12.4559
1800	1815	2000	1310	193	7.5	0.00001	0.817	49	0.0136	830.000	0.9888	1.5500	609.7959	393.4210	1.8116	33691.51	42.537.888	21.5114
1800	1805	3000	1299	190	11.2	0.00001	0.683	41	0.0114	830.000	0.9859	2.2853	728.7805	318.8996	12.0298	48802.35	42.537.888	26.5383
1800	1806	4000	1296	189	15.1	0.00001	0.502	30.1	0.0081	830.000	0.9831	3.0737	992.6910	322.9681	16.2693	60601.22	42.537.888	26.2040
1800	1804	4500	1290	183	16.6	0.00001	0.485	29.1	0.0081	830.000	0.9797	3.2833	1026.8041	312.7365	17.3693	70463.78	42.537.888	27.0613
1800	1805	5000	1292	185	18.7	0.00001	0.378	22.7	0.0063	830.000	0.9806	3.7353	1316.2996	352.3901	19.7827	80254.46	42.537.888	24.0161
1900	1917	0	1388	180	0	0.00001	1.575	94.500	0.0263	830.000	0.9919	0.0000	316.1905	0.0000	0.0000	0.00	42.537.888	0.0000
1900	1908	1000	1381	198	3.6	0.00001	1.077	64.600	0.0179	830.000	0.9916	0.7611	462.5387	607.7048	3.7934	15388.91	42.537.888	13.9262
1900	1901	2000	1372	202	7.7	0.00001	0.742	44.500	0.0124	830.000	0.9888	1.6656	671.4607	403.1322	8.3404	33835.25	42.537.888	20.9932
1900	1905	3000	1370	201	11.7	0.00001	0.592	35.500	0.0099	830.000	0.9852	2.5273	841.6601	333.0373	12.7019	51529.02	42.537.888	25.4117
1900	1910	4000	1370	201	15.7	0.00001	0.442	26.500	0.0074	830.000	0.9827	3.4003	1127.5472	331.6066	17.0533	69181.70	42.537.888	25.5213
1900	1907	4500	1366	196	17.3	0.00001	0.427	25.600	0.0071	830.000	0.9813	3.6585	1167.1875	319.0329	18.3005	74241.46	42.537.888	26.5272
1900	1905	5000	1360	196	19.3	0.00001	0.340	20.400	0.0057	830.000	0.9781	4.0952	1464.7059	357.6662	20.5170	83233.17	42.537.888	23.6618
2000	2008	0	1453	194	0	0.00001	1.543	92.6	0.0257	830.000	0.9913	0.0000	322.6782	0.0000	0.0000	0.00	42.537.888	0.0000
2000	2005	1000	1449	211	3.8	0.00001	1.002	60.1	0.0167	830.000	0.9901	0.8575	497.1714	579.8172	4.0798	16551.07	42.537.888	14.5961
2000	2003	2000	1443	215	8	0.00001	0.710	42.6	0.0118	830.000	0.9870	1.8452	701.4085	380.1237	8.7927	35670.27	42.537.888	22.2639
2000	2003	3000	1439	213	12	0.00001	0.488	29.3	0.0081	830.000	0.9842	2.7497	1019.7952	370.8762	13.1158	55208.10	42.537.888	22.8191
2000	2013	4000	1440	215	16.2	0.00001	0.368	22.1	0.0061	830.000	0.9800	3.7630	1352.0362	359.2945	17.9493	72816.79	42.537.888	23.5546
2000	2006	4500	1436	210	18	0.00001	0.343	20.6	0.0057	830.000	0.9807	4.0810	1450.4854	355.4202	19.3695	78578.22	42.537.888	23.8114
2000	2011	5000	1435	208	20.1	0.00001	0.297	17.8	0.0049	830.000	0.9776	4.5282	1678.6517	370.7132	21.5667	87491.59	42.537.888	22.8291
2100	2110	0	1528	214	0	0.00001	1.507	90.4	0.0251	830.000	0.9921	0.0000	330.5310	0.0000	0.0000	0.00	42.537.888	0.0000
2100	2112	1000	1527	226	3.9	0.00001	0.935	56.1	0.0156	830.000	0.9905	0.9422	532.6203	565.3102	4.2662	17307.05	42.537.888	14.9706
2100	2101	2000	1513	230	8.3	0.00001	0.703	42.2	0.0117	830.000	0.9866	2.0488	708.0569	345.5987	9.2682	37599.05	42.537.888	24.8881
2100	2103	3000	1507	231	12.5	0.00001	0.505	30.3	0.0084	830.000	0.9817	3.1142	986.1386	316.6554	14.1617	57591.27	42.537.888	26.7263
2100	2105	4000	1506	227	16.7	0.00001	0.388	23.3	0.0065	830.000	0.9802	4.0952	1282.4034	313.1498	18.6048	75475.83	42.537.888	27.0255
2100	2110	4500	1511	224	18.6	0.00001	0.372	22.3	0.0062	830.000	0.9811	4.4966	1339.9103	297.9846	20.4090	82795.08	42.537.888	28.4009
2100	2105	5000	1505	220	20.6	0.00001	0.283	17	0.0047	830.000	0.9795	4.8990	1757.6471	338.7758	22.1829	89991.35	42.537.888	23.5887
2200	2209	0	1600	231	0	0.00001	1.372	82.3	0.0229	830.000	0.9923	0.0000	363.0620	0.0000	0.0000	0.00	42.537.888	0.0000
2200	2201	1000	1590	239	4	0.00001	0.857	51.4	0.0143	830.000	0.9897	1.0228	581.3230	568.3733	4.4236	17945.80	42.537.888	14.8899
2200	2201	2000	1589	239	8.5	0.00001	0.562	33.7	0.0094	830.000	0.9891	2.1748	886.6469	407.6944	9.4403	38297.52	42.537.888	20.7583
2200	2206	3000	1583	244	12.9	0.00001	0.460	27.6	0.0077	830.000	0.9831	3.3901	1082.6087	319.3481	14.7156	59698.28	42.537.888	26.5010
2200	2209	4000	1581	242	17.2	0.00001	0.337	20.2	0.0056	830.000	0.9805	4.4948	1379.3979	329.0929	19.4669	78973.22	42.537.888	25.7163
2200	2210	4500	1578	236	19.3	0.00001	0.318	19.1	0.0053	830.000	0.9782	4.9301	1564.3079	317.3143	21.3233	86504.08	42.537.888	26.6709
2200	2165	5000	1547	230	21	0.00001	0.203	12.2	0.0034	830.000	0.9789	5.2242	2449.1803	468.8167	22.5848	91622.08	42.537.888	18.0519

Gambar Hasil Performansi Pertamina Dex

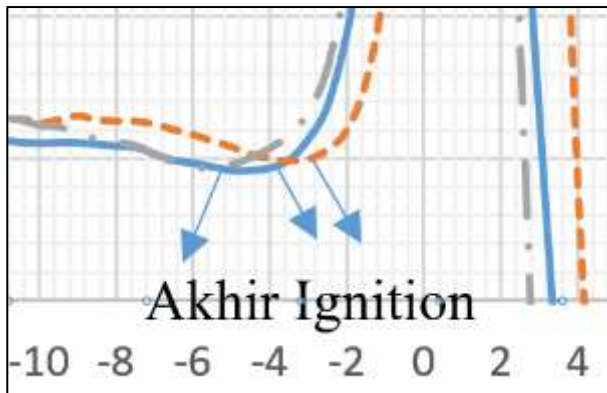
Biodiesel CPO 20%

Putaran Engine (rpm)	Beban (watt)	Putaran Alternator (Rpm)	Alternator		Volume Bakar (ml)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/ml)	Efisiensi Slip (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
			Tepeang n (Vold)	Arus (Amper)												
1800	1808	0	1309	146	0	2.518	151.1	0.0420	850000	0.9919	0.0000	616.8937	651.8820	0.0000	43921500	0.0000
1800	1813	1000	1311	176	3.4	1.223	73.4	0.0294	850000	0.9907	0.6396	416.8937	651.8820	0.0000	43921500	12.5745
1800	1802	2000	1301	186	7.4	0.812	48.7	0.0135	850000	0.9891	1.4734	628.3368	426.4992	7.8120	31691.69	49921500
1800	1807	3000	1301	190	11.3	0.658	38.3	0.0106	850000	0.9864	2.3047	798.9556	346.6924	12.1857	49434.76	49921500
1800	1807	4000	1298	187	15.1	0.503	30.2	0.0084	850000	0.9841	3.0381	1013.2489	333.5105	16.0634	65166.07	49921500
1800	1813	4500	1298	185	16.8	0.458	27.5	0.0076	850000	0.9808	3.3551	1112.7273	331.6512	17.6808	71727.22	49921500
1800	1802	5000	1294	182	18.6	0.393	23.6	0.0066	850000	0.9838	3.6434	1296.6102	335.8783	19.3172	78366.01	49921500
1900	1909	0	1384	170	0	2.308	138.5	0.0385	830000	0.9952	0.0000	215.7401	0.0000	0.0000	4257888	0.0000
1900	1910	1000	1383	190	3.6	0.0001	0.975	0.0163	830000	0.9920	0.7301	510.7692	699.6974	3.6539	14823.10	4257888
1900	1905	2000	1371	200	7.7	0.0001	0.760	0.0127	830000	0.9861	1.6538	655.2616	872.7466	14.823	33560.45	4257888
1900	1902	3000	1370	202	11.7	0.0001	0.578	0.0096	830000	0.9868	2.5389	861.0951	339.5634	12.1882	51595.27	4257888
1900	1913	4000	1374	201	15.7	0.0001	0.422	0.0070	830000	0.9840	3.3957	1181.0277	347.8028	17.0505	69197.62	4257888
1900	1919	4500	1374	196	17.5	0.0001	0.395	0.0066	830000	0.9809	3.7024	1260.7595	344.7024	18.4911	75014.48	4257888
1900	1908	5000	1362	195	19	0.0001	0.380	0.0058	830000	0.9780	4.0114	1422.8571	354.7062	19.9714	81019.99	4257888
2000	2008	0	1453	188	0	0.0001	2.220	0.0370	830000	0.9913	0.0000	224.3243	0.0000	0.0000	4257888	0.0000
2000	2000	1000	1448	208	3.7	0.0001	0.882	0.0147	830000	0.9919	0.8215	504.8395	685.5560	3.9089	15867.71	4257888
2000	2012	2000	1451	215	8.1	0.0001	0.772	0.0129	830000	0.9860	1.8663	645.3564	346.7901	8.9156	36168.60	4257888
2000	2009	3000	1445	217	12.1	0.0001	0.492	0.0082	830000	0.9854	2.8214	1012.8814	359.0332	13.3975	54350.92	4257888
2000	2006	4000	1456	212	16.2	0.0001	0.408	0.0068	830000	0.9807	3.7079	1219.5918	326.9153	17.6336	71556.08	4257888
2000	2004	4500	1456	208	18	0.0001	0.380	0.0063	830000	0.9817	4.0381	1310.5365	324.5365	19.2328	78023.58	4257888
2000	2010	5000	1440	207	20.2	0.0001	0.315	0.0053	830000	0.9815	4.5108	1580.9524	350.4778	21.5056	87243.94	4257888
2100	2101	0	1532	208	0	0.0001	2.097	0.0349	830000	0.9900	0.0000	237.5105	0.0000	0.0000	4257888	0.0000
2100	2103	1000	1524	225	3.9	0.0001	0.902	0.0150	830000	0.9928	0.9386	552.3165	590.1724	4.2557	17264.46	4257888
2100	2106	2000	1515	226	8.3	0.0001	0.682	0.0114	830000	0.9860	2.0143	730.5623	362.6639	9.1515	37124.63	4257888
2100	2106	3000	1514	232	12.6	0.0001	0.475	0.0079	830000	0.9849	3.1426	1048.4211	335.6120	14.2657	57865.09	4257888
2100	2106	4000	1509	223	16.8	0.0001	0.402	0.0067	830000	0.9816	4.0410	1239.8300	306.8155	18.3324	74370.83	4257888
2100	2106	4500	1509	222	18.7	0.0001	0.372	0.0062	830000	0.9816	4.4778	1339.9103	299.2327	20.3142	82410.92	4257888
2100	2101	5000	1502	220	20.7	0.0001	0.293	0.0049	830000	0.9794	4.9233	1697.7273	344.8885	22.3530	90608.40	4257888
2200	2203	0	1596	228	0	0.0001	1.940	0.0323	830000	0.9925	0.0000	256.7010	0.0000	0.0000	4257888	0.0000
2200	2201	1000	1591	236	4.1	0.0001	0.822	0.0137	830000	0.9903	1.0345	606.0852	585.8480	4.4867	18201.57	4257888
2200	2201	2000	1587	244	8.6	0.0001	0.605	0.0101	830000	0.9878	2.2492	823.1426	365.9696	9.7635	39698.56	4257888
2200	2203	3000	1588	245	13	0.0001	0.447	0.0074	830000	0.9875	3.4489	1114.9755	326.9860	14.8234	60155.52	4257888
2200	2203	4000	1577	240	17.3	0.0001	0.333	0.0066	830000	0.9807	4.4827	1499.0000	332.2786	19.4411	78868.46	4257888
2200	2206	4500	1575	237	19.2	0.0001	0.310	0.0062	830000	0.9781	4.9258	1606.4516	324.1295	21.6266	86663.80	4257888
2200	2168	5000	1553	230	21.2	0.0001	0.213	0.0056	830000	0.9814	5.2668	2234.3790	443.7272	22.7846	92427.29	4257888
																19.0726

Gambar Hasil Performansi Biodiesel CPO 20%

Lampiran 6. Perhitungan Ignition Delay

Ignition Delay didapatkan dari grafik *combustion process* pada parameter grafik *heat release*. Dari heat release dapat diketahui kapan bahan bakar mulai mengalami proses pembakaran. Dari titik itulah akan didapatkan *igniton delay* suatu proses pembakaran. Berikut gambar proses pencarian titik akhir *ignition delay*.



Perhitungan Timming Ignition Delay

Ketika sudah didapatkan titik akhir dari *Ignition delay* maka dapat kita tentikan timming *ignition delay* dengan cara :

$$\text{Timming Ignition Delay} = \frac{1}{\frac{\text{rps}}{360}} \times \text{abs}(a-b) \times 1000$$

Dimana :

Timming Ignition Delay	= Waktu <i>ignition delay</i> (ms)
Rps	= Putaran mesin persekon
a	= posisi awal <i>ignition</i> (-18°)
b	= posisi akhir <i>ignition</i>

Lampiran 7. Rumus Perhitungan Performansi

- **Daya Motor**

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor selama kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\text{Eff Gen} \times \text{Eff Slip}}$$

Dimana:

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos ϕ	: 0,9
Eff Gen	: efisiensi generator (0,85)
Eff Slip	: efisiensi Slip

- **Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)**

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *Specific Fuel Consumption* (SFOC) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$\text{FCR} = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana:

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
ρ	: massa jenis bahan bakar (gr/m ³)
v	: volume bahan bakar (m ³)
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10ml (h)

$$SFOC = \frac{SFC}{P}$$

Dimana:

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar (g/kWh)

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)

P : daya (Kw)

- **Torsi**

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times rpm}$$

Dimana:

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

rpm : putaran motor diesel (rpm)

- **BMEP (Break Main Effective Pressure)**

Tekanan efektif rata –rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja persiklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)

P :daya (kw)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m³)

I : jumlah silinder

- **Efisiensi Thermal (η_{th})**

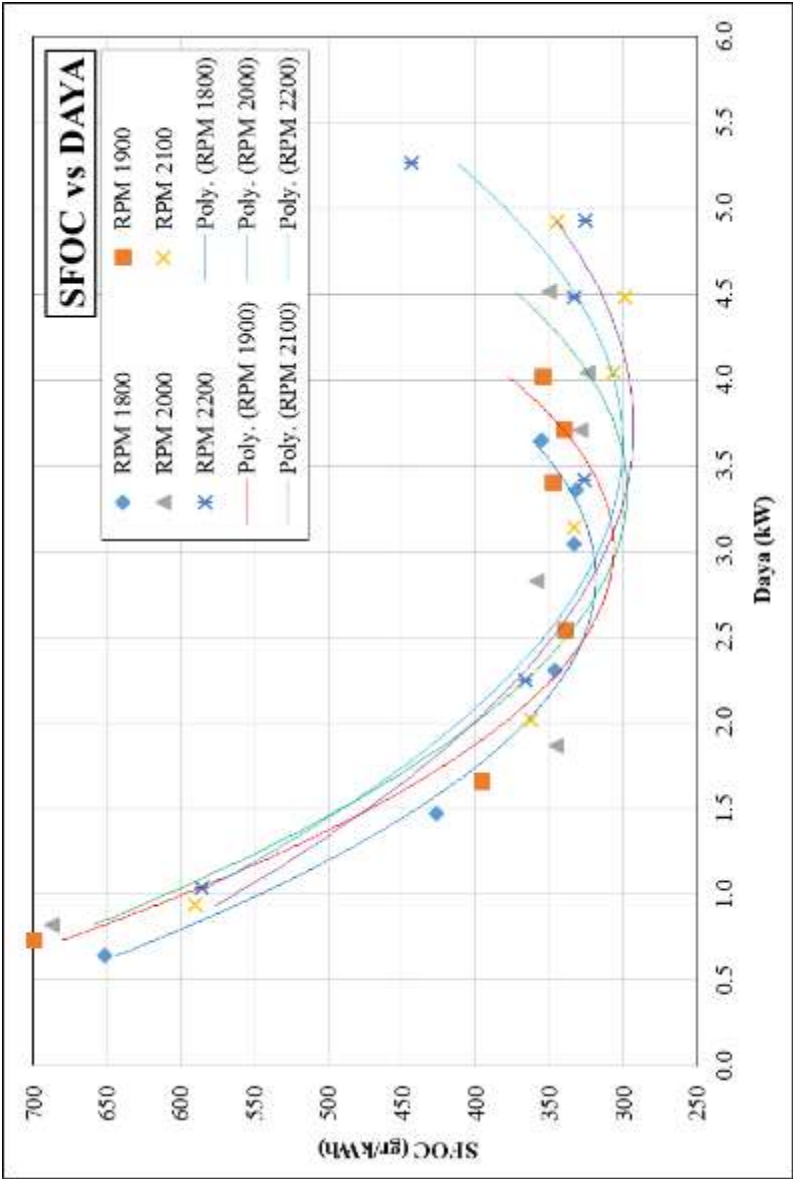
Efisiensi termal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah energi bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu.

$$\eta_{th} = \frac{P \times 100000}{FCR \times LHV} \times 100\%$$

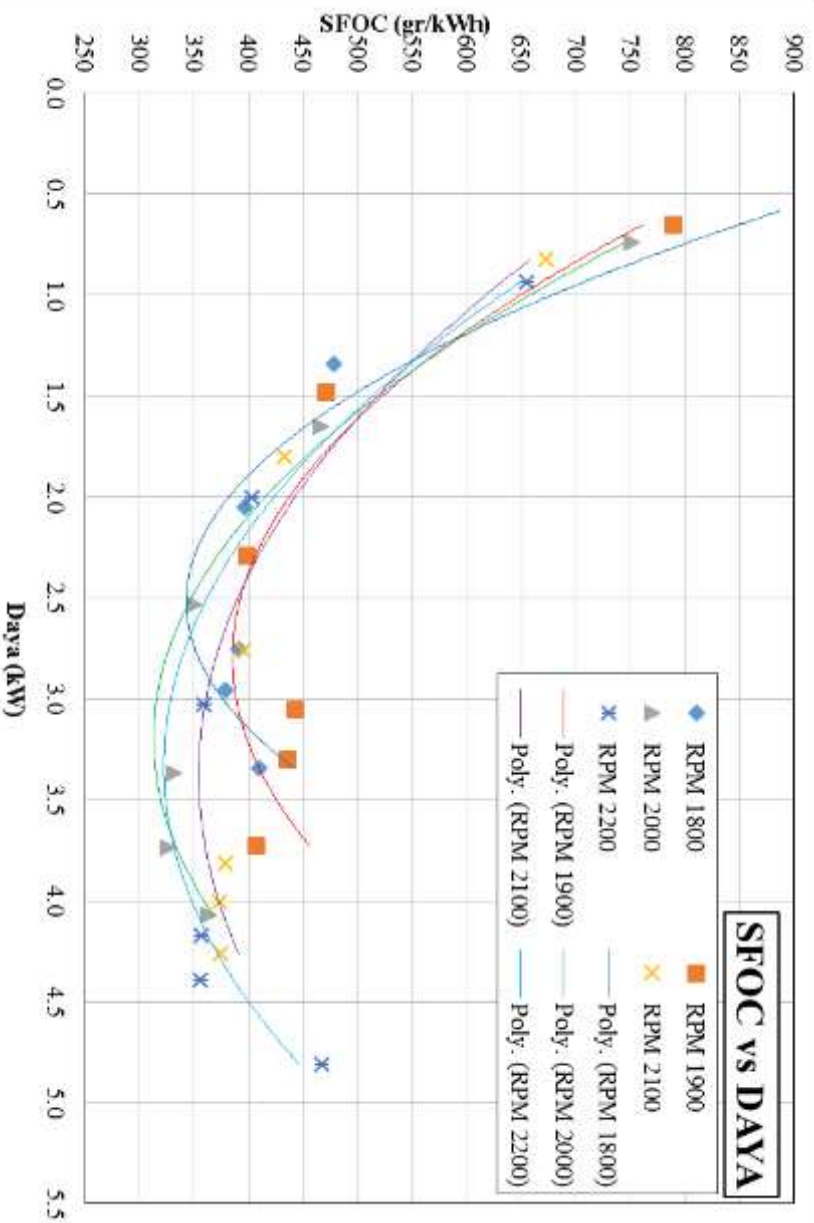
Dimana :

η_{th}	= efisiensi thermal
P	= daya (kw)
FCR	= laju aliran bahan bakar (gr/h)
LHV	= <i>low heating value</i> (j/kg)

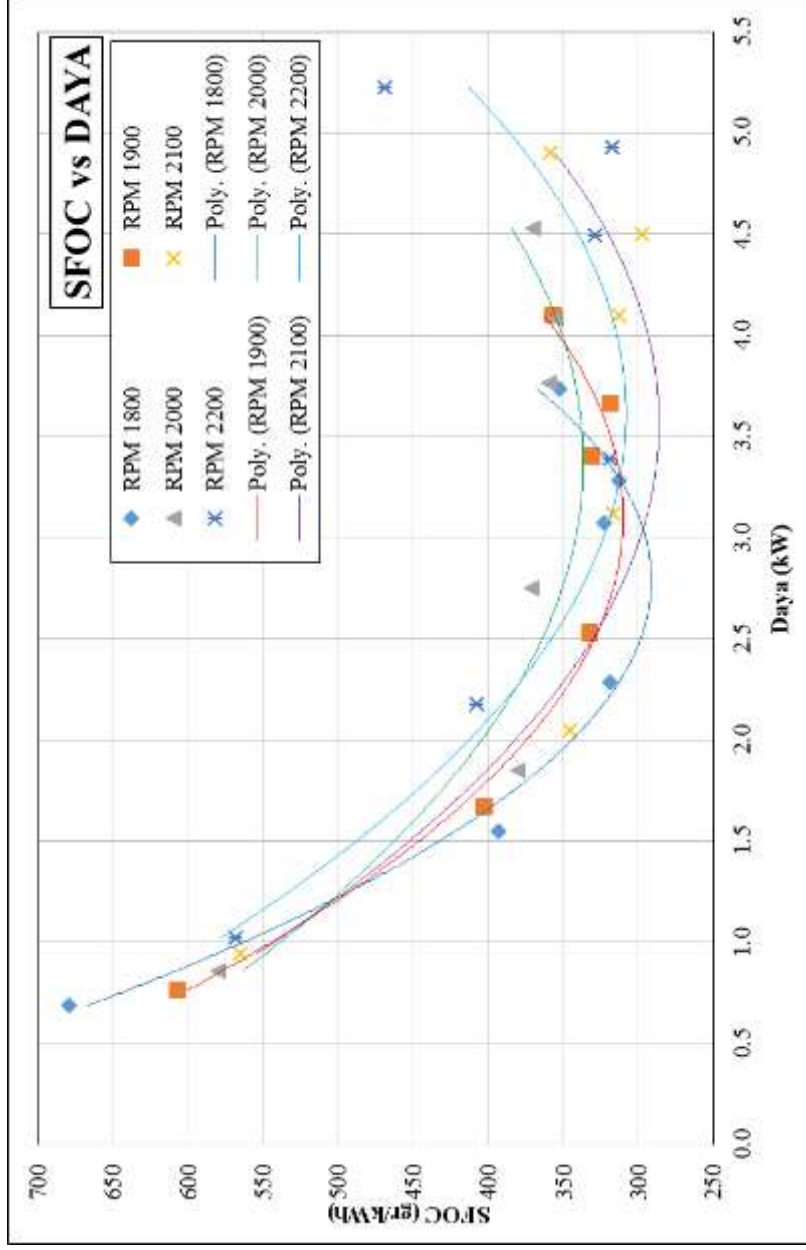
Lampiran 8. Grafik SFOC dari Biodiesel & Pertamina Dex



Gambar Performansi SFOC dengan Daya Biodiesel CPO 20%



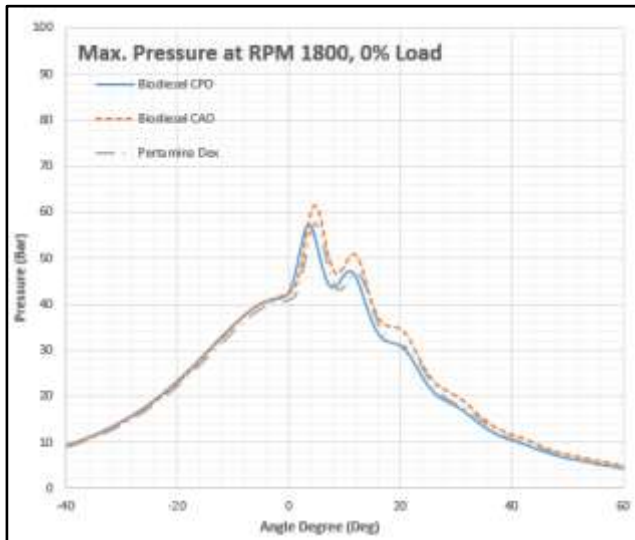
Gambar Performansi SFOC dengan Daya Biodiesel CAO 20%



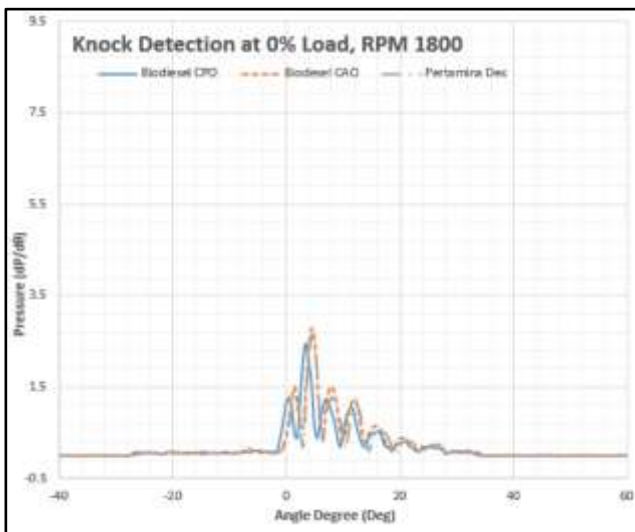
Gambar Performansi SFOC dengan Daya Pertamina Dex

Lampiran 9. Grafik Proses Pembakaran

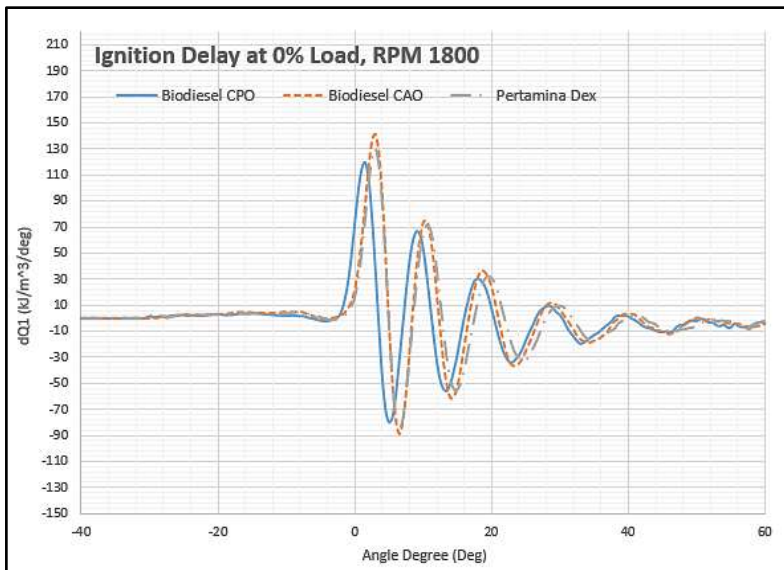
a. Grafik RPM 1800, 0% Load



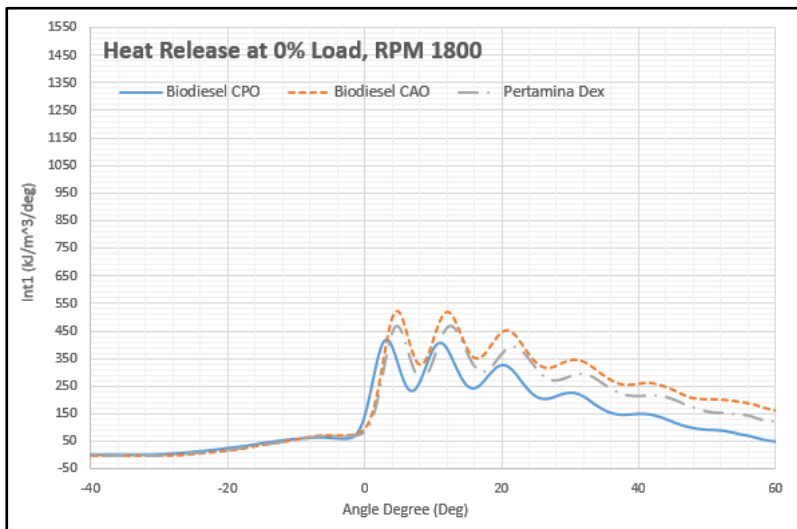
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 0%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 0%

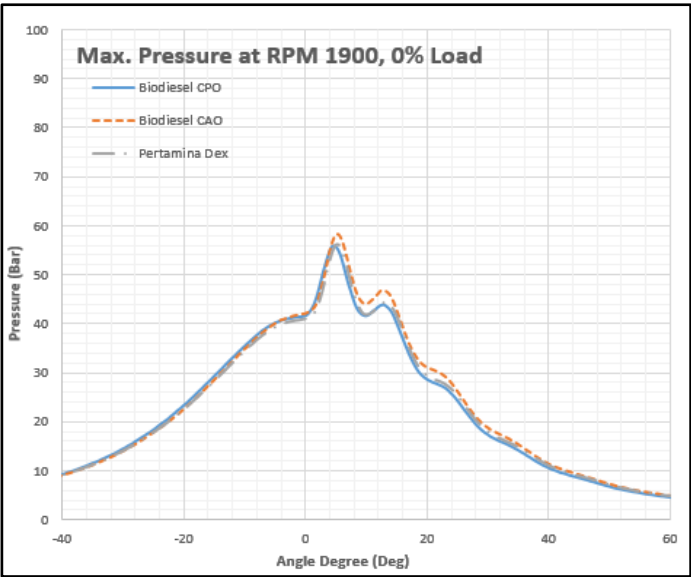


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 0%

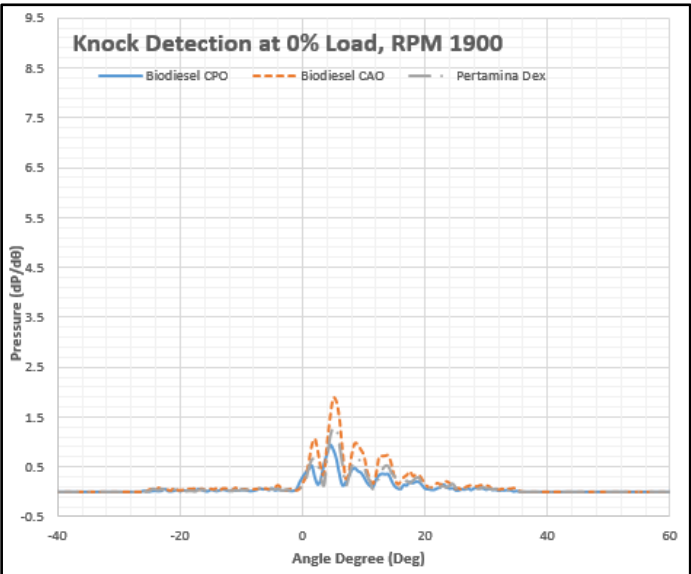


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 0%

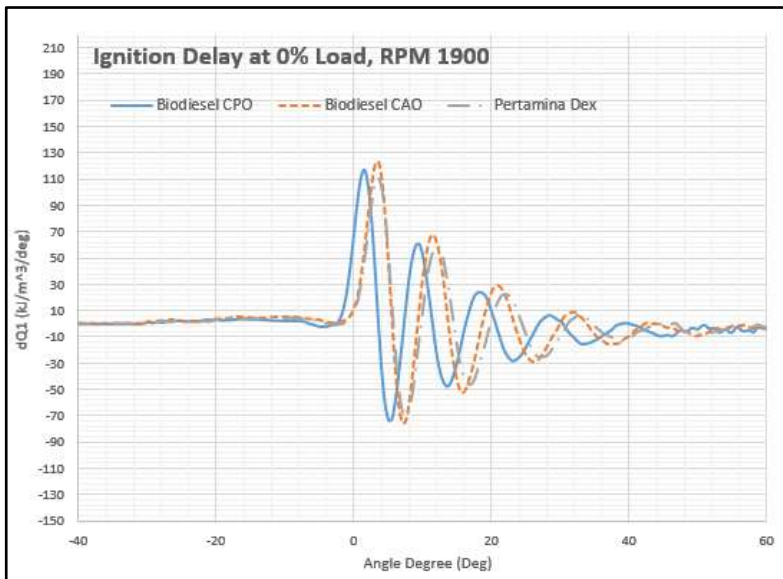
b. Grafik RPM 1900, 0% Load



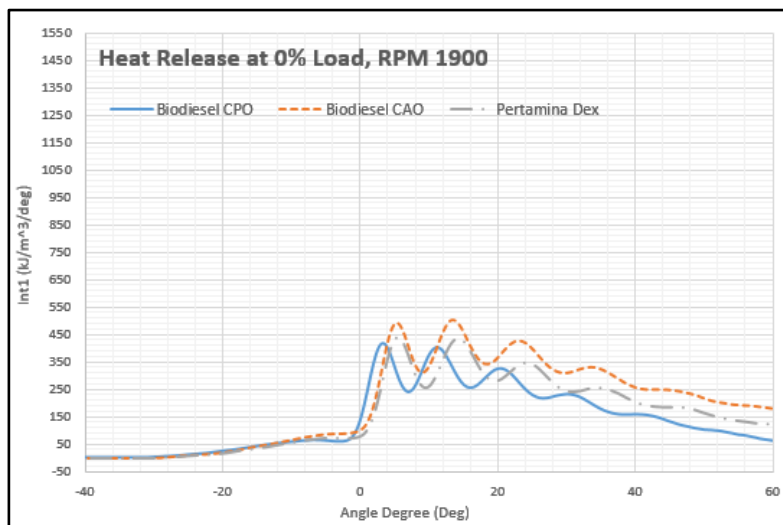
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1900, Load 0%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1900, Load 0%

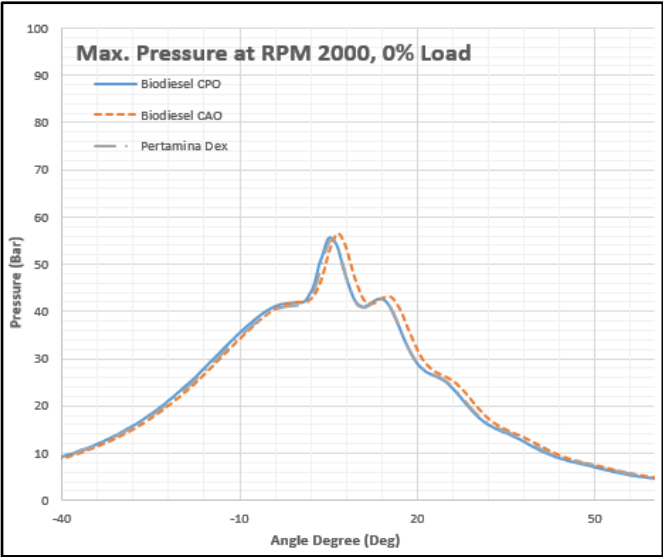


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 0%

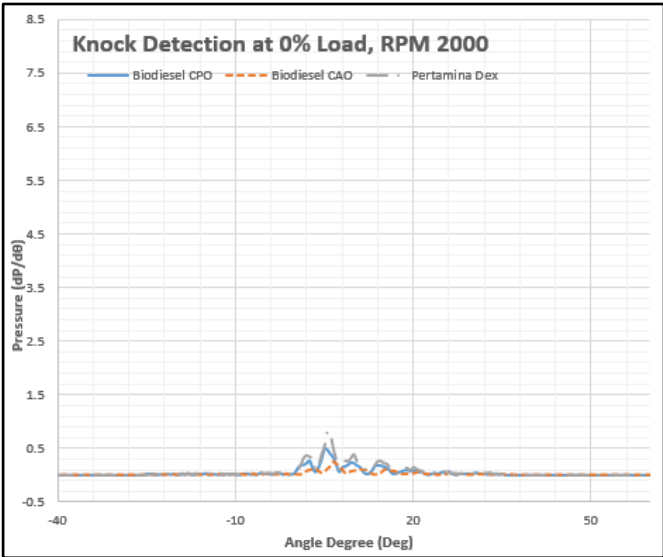


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 0%

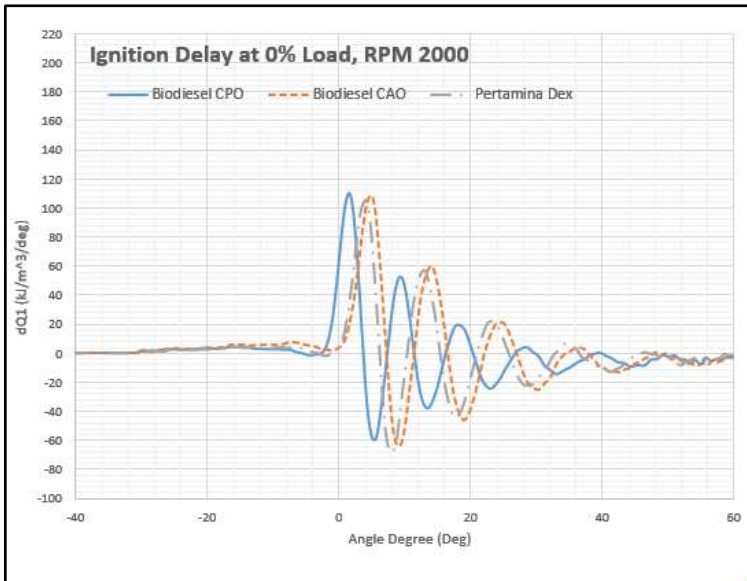
c. **Grafik RPM 2000, 0% Load**



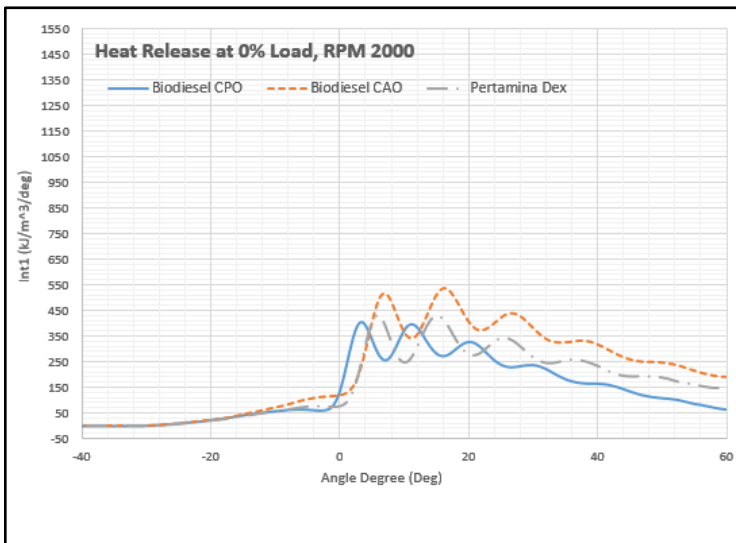
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2000, Load 0%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2000, Load 0%

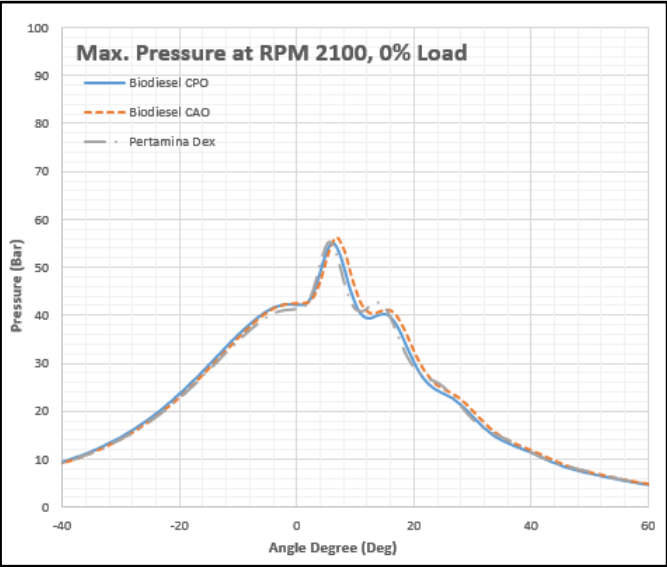


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 0%

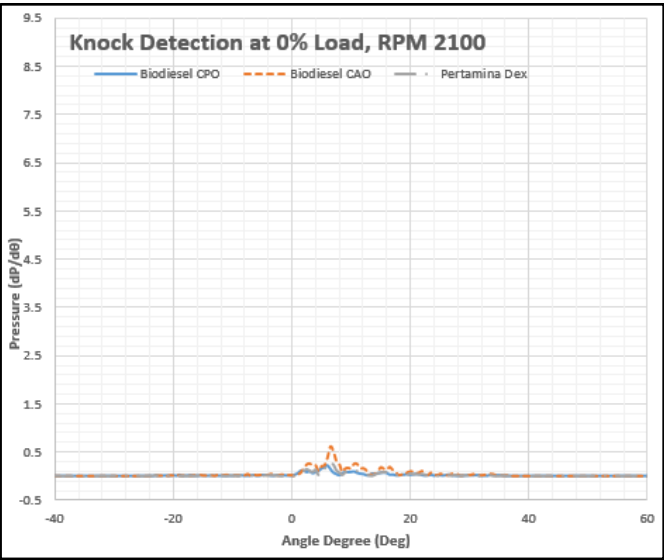


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 0%

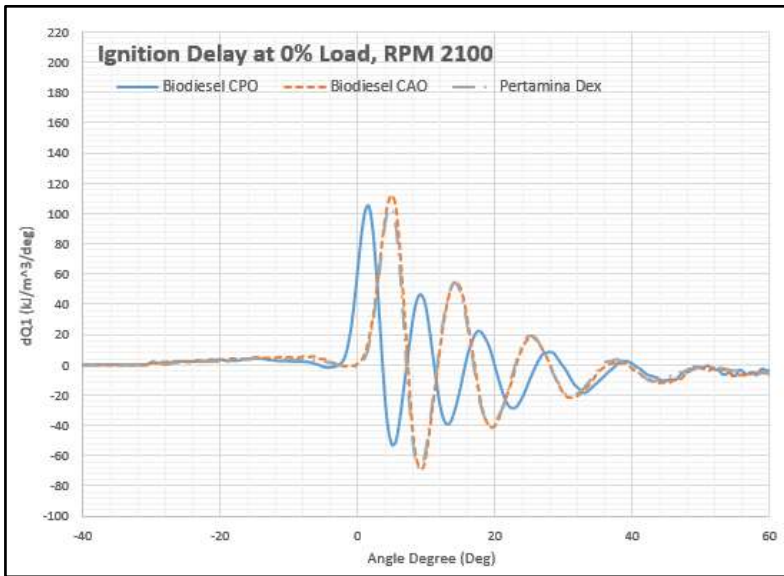
d. Grafik RPM 2100, 0% Load



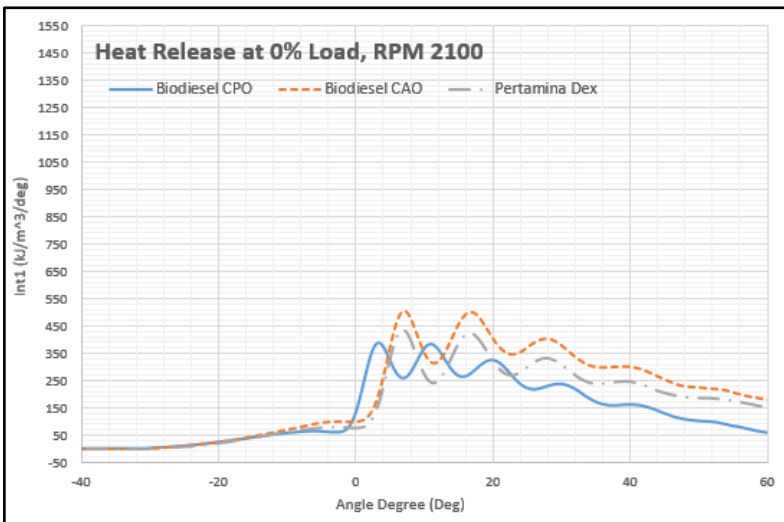
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 0%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 0%

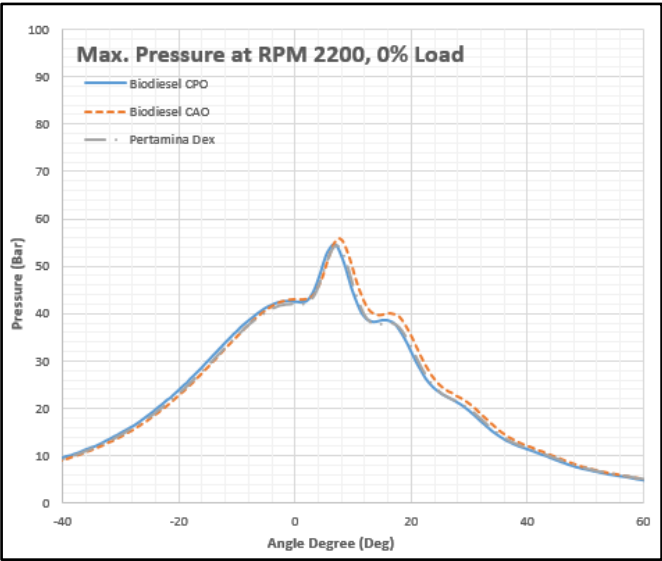


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 0%

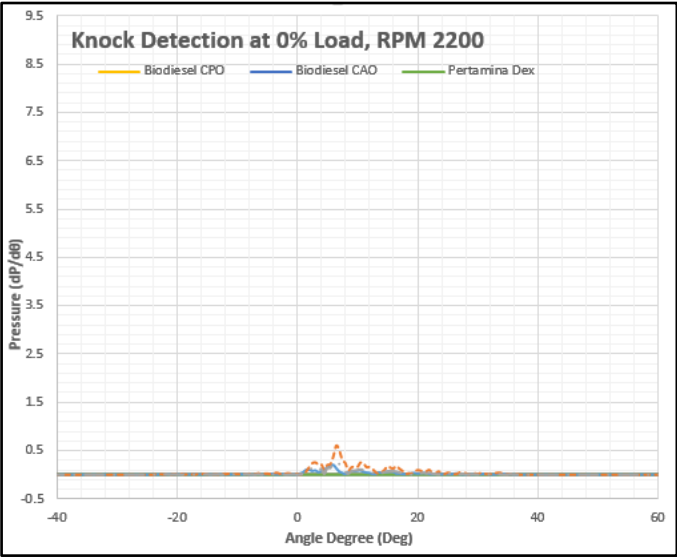


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2100, Load 0%

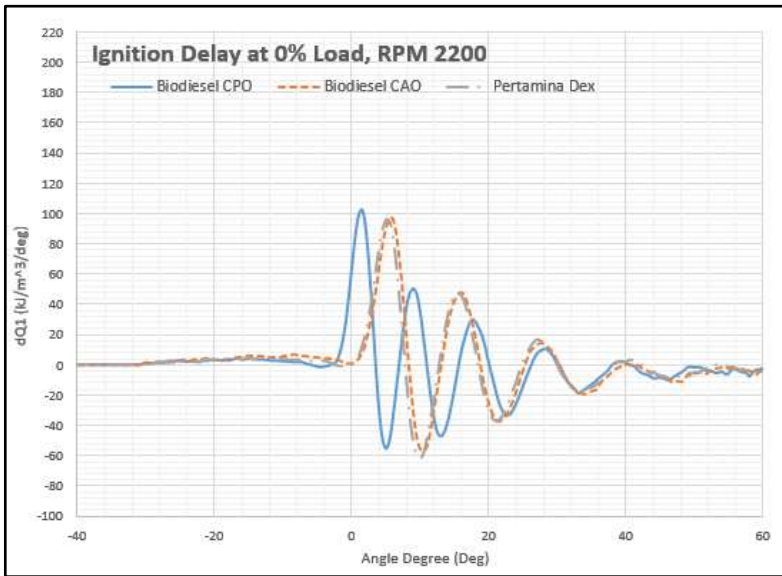
e. **Grafik RPM 2200, 0% Load**



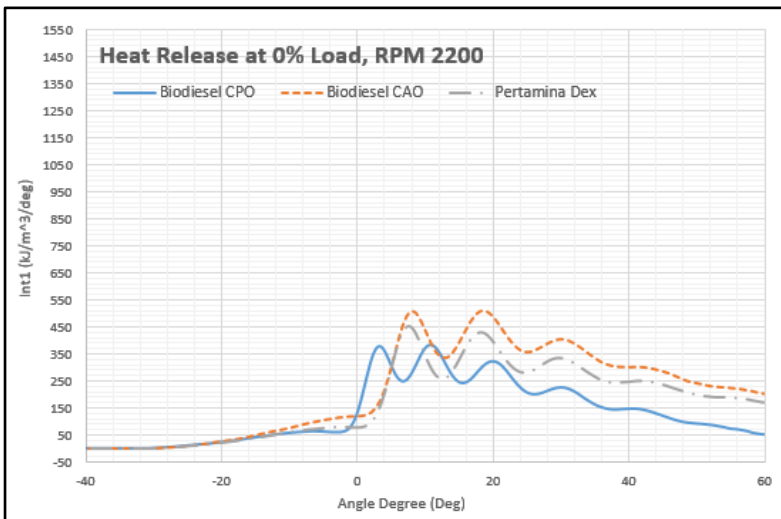
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 0%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 0%

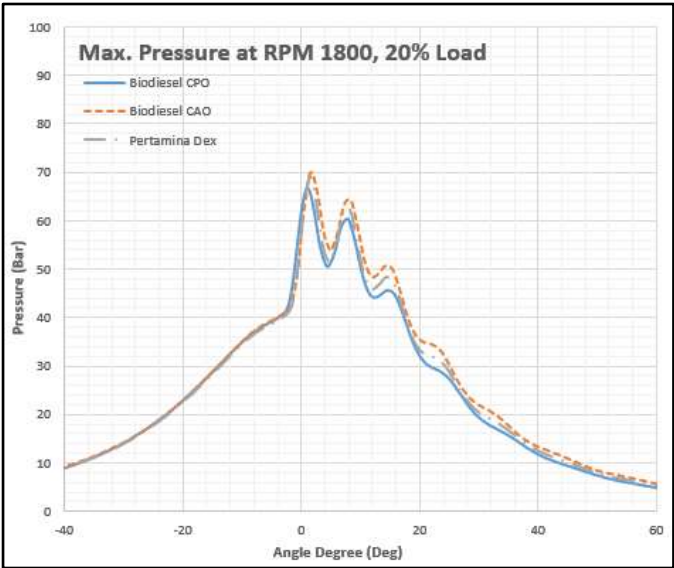


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 0%

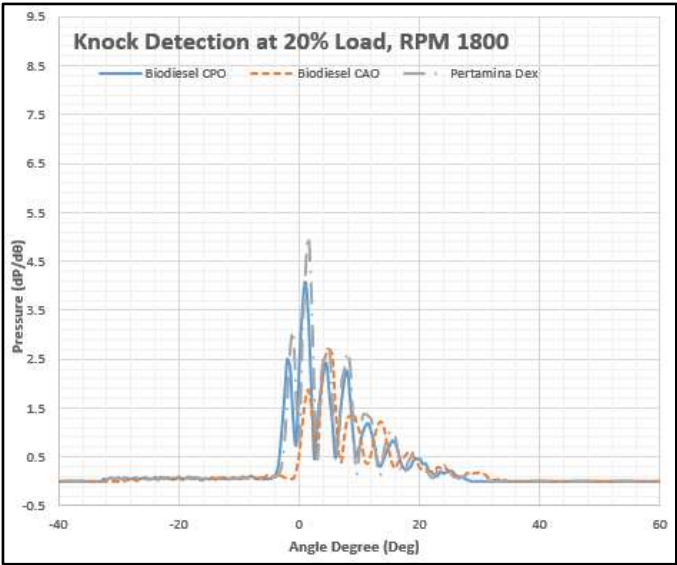


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 0%

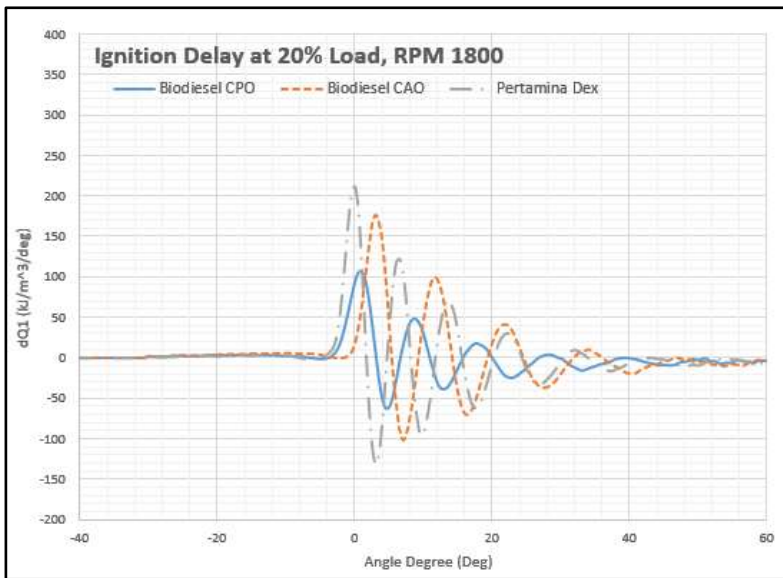
f. **Grafik RPM 1800, 20% Load**



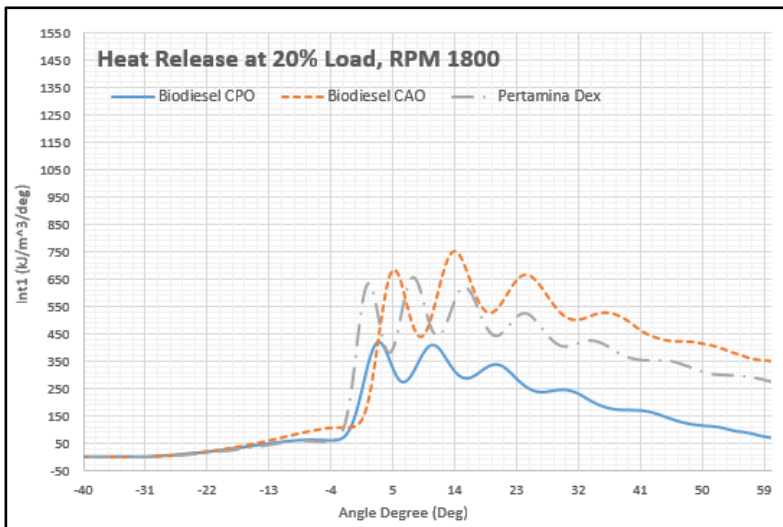
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 20%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 20%

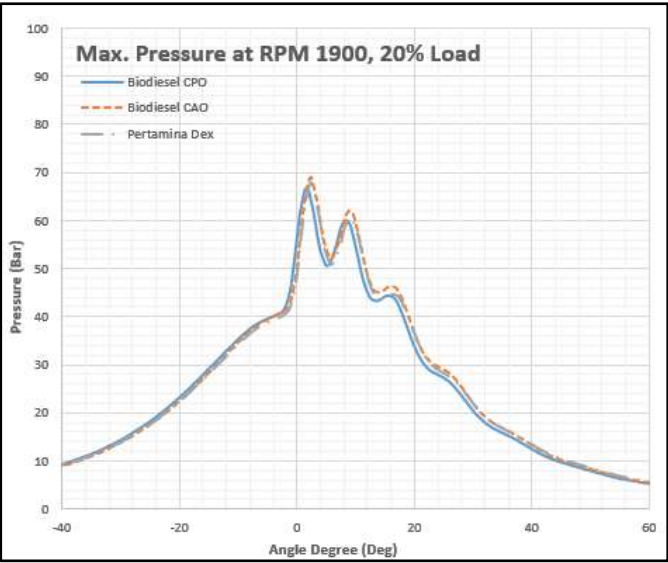


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 20%

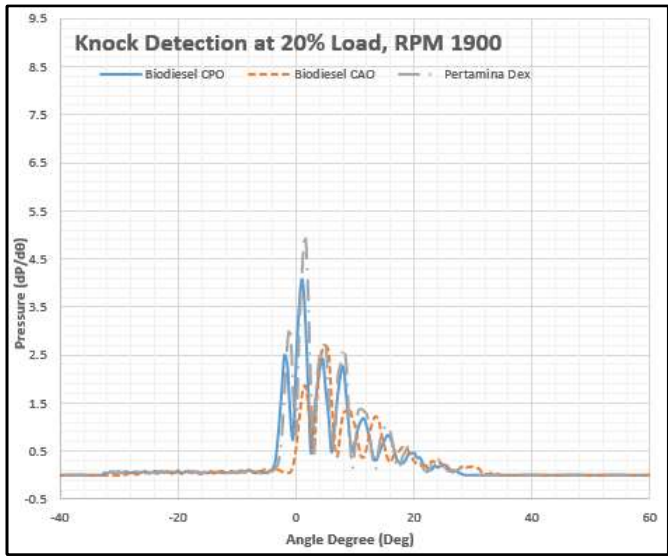


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 20%

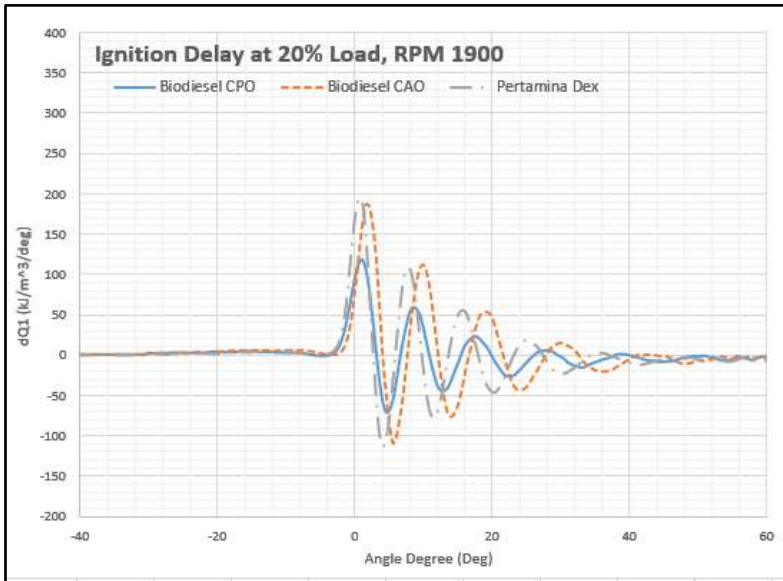
g. **Grafik RPM 1900, 20% Load**



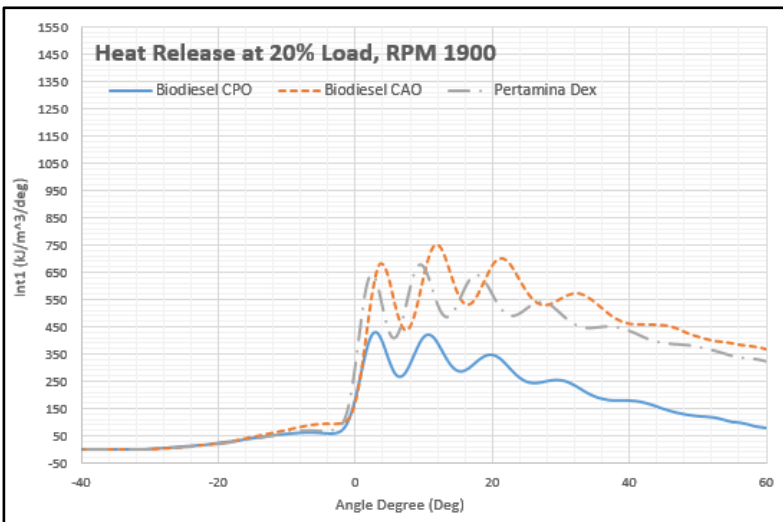
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1900, Load 20%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1900, Load 20%

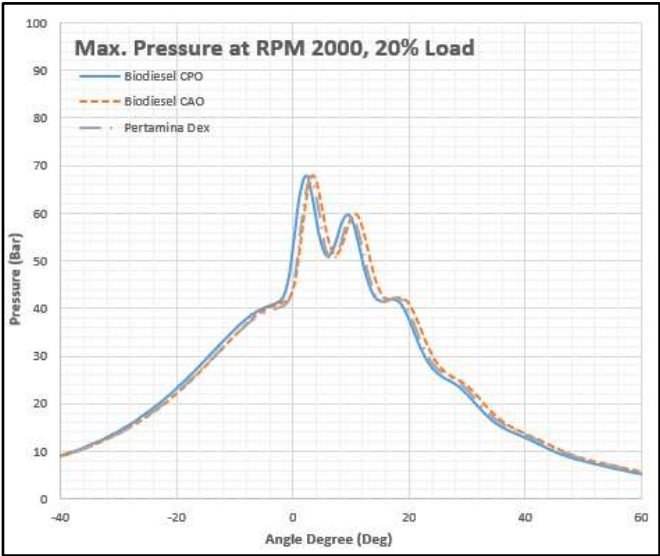


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 20%

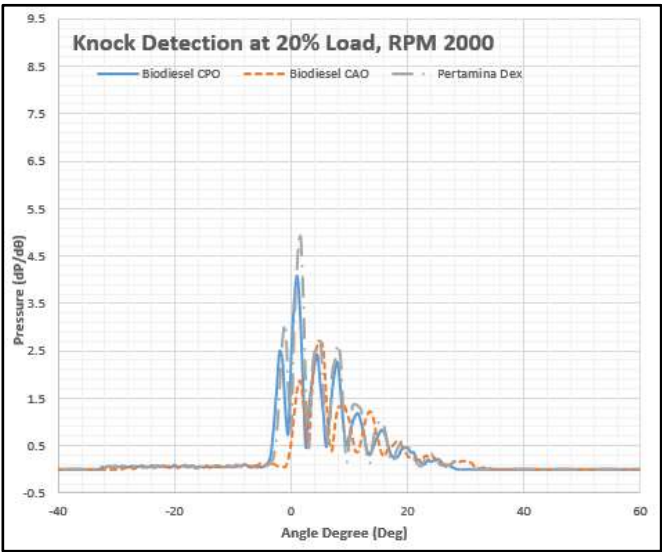


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 20%

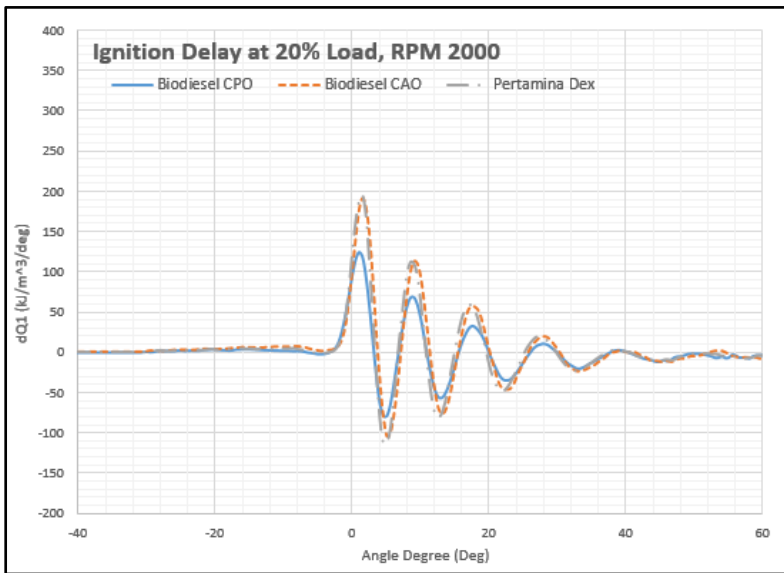
h. Grafik RPM 2000, 20% Load



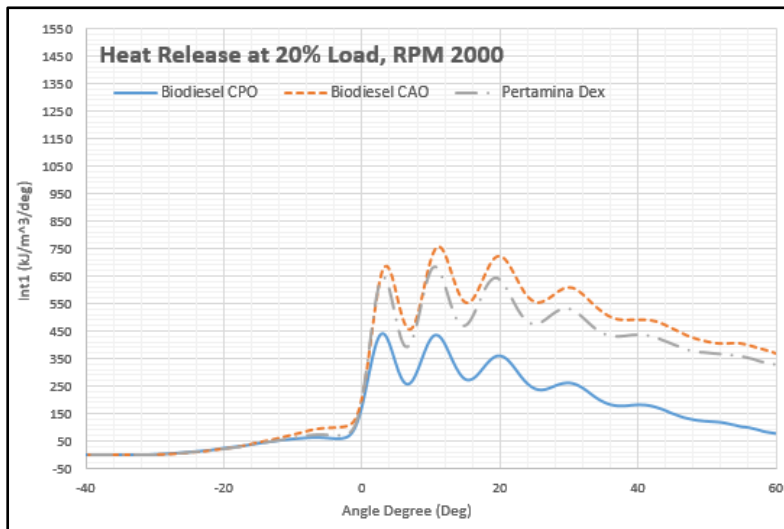
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2000, Load 20%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2000, Load 20%

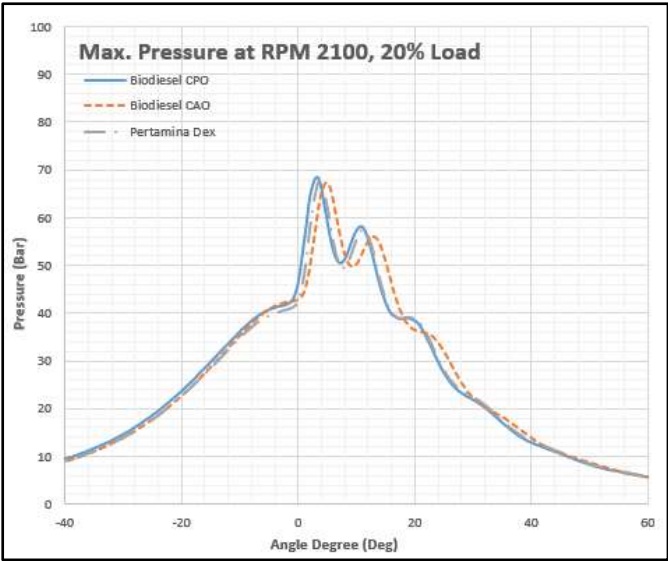


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 20%

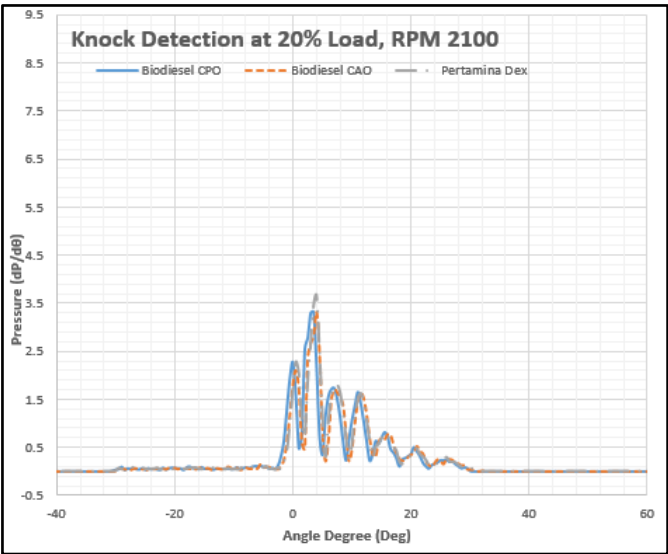


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 20%

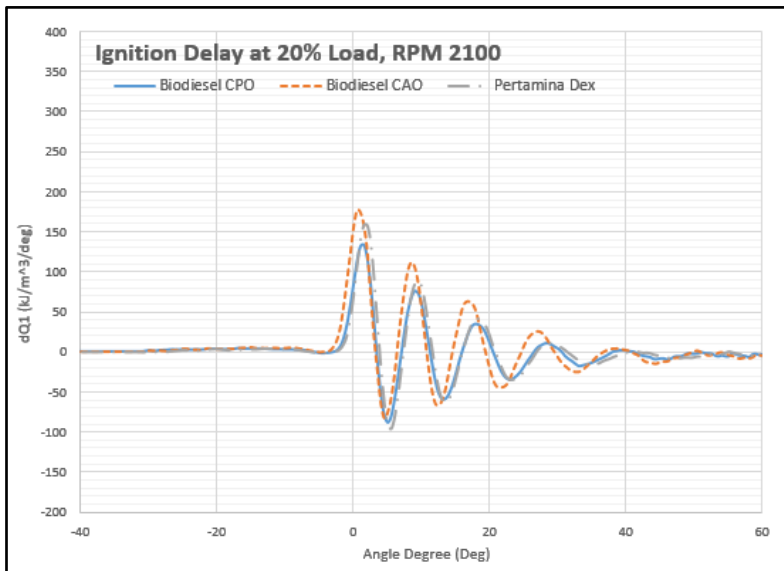
i. **Grafik RPM 2100, 20% Load**



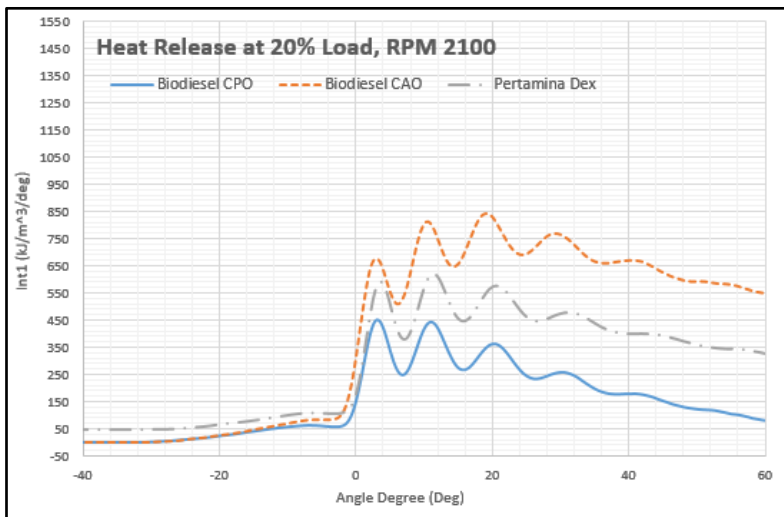
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 20%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 20%

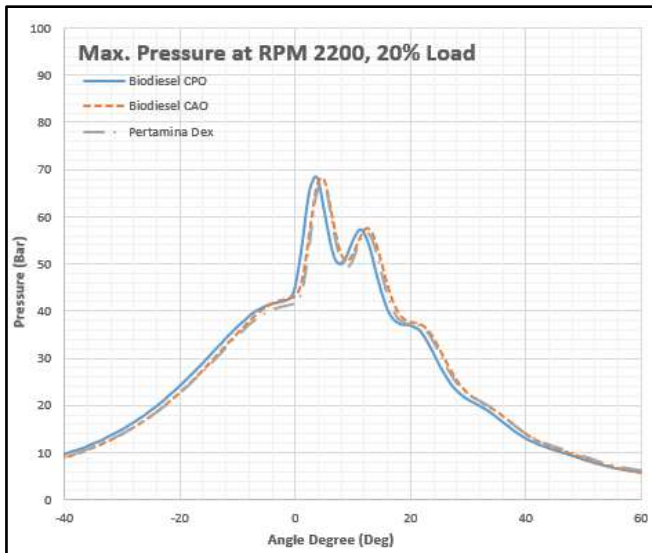


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 20%

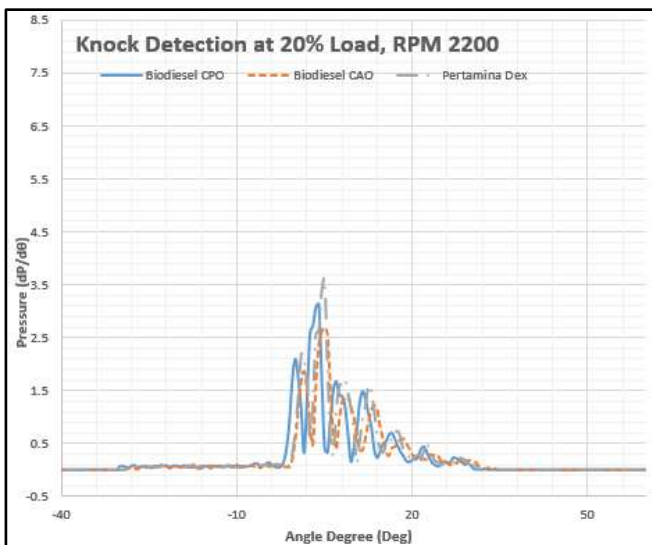


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2100, Load 20%

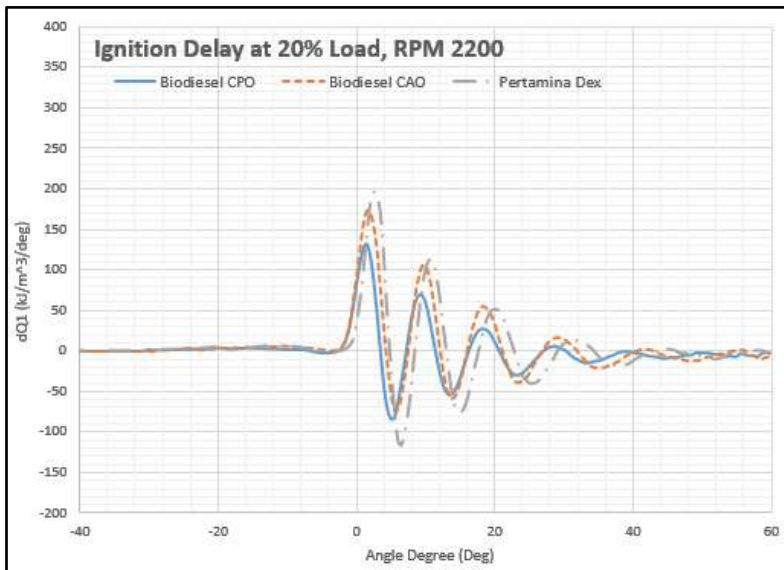
j. **Grafik RPM 2200, 20% Load**



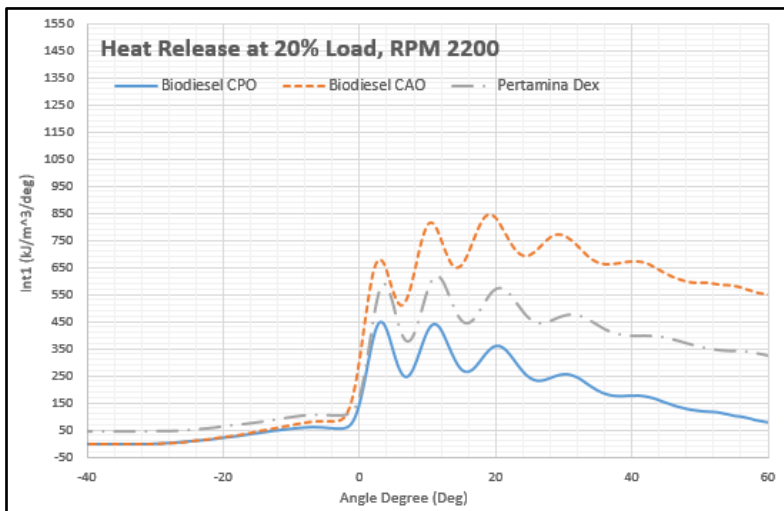
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 20%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 20%

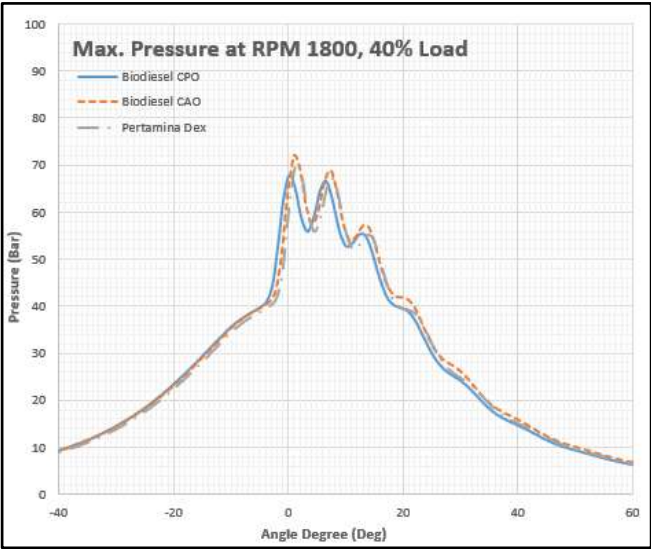


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 20%

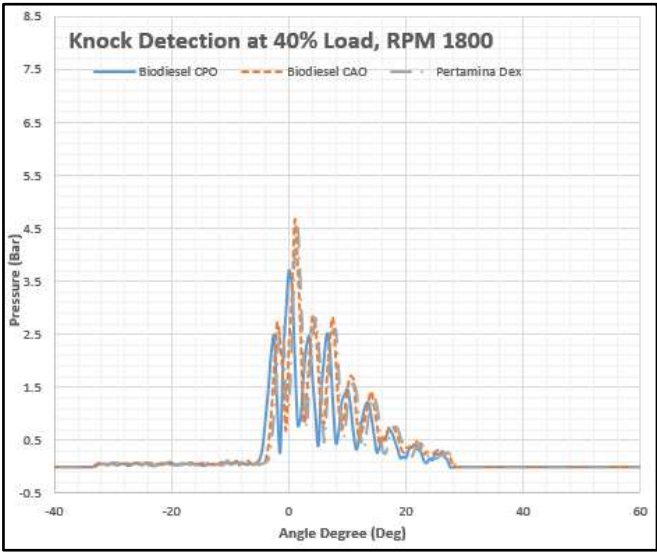


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 20%

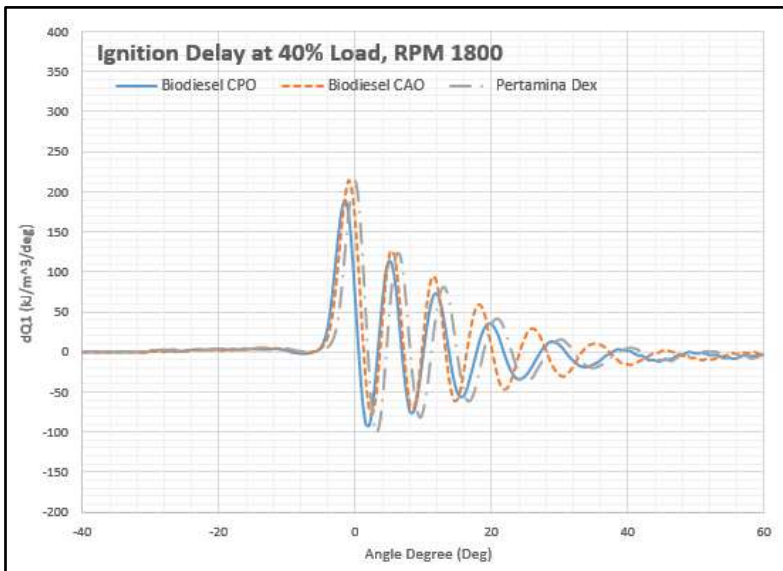
k. Grafik RPM 1800, 40% Load



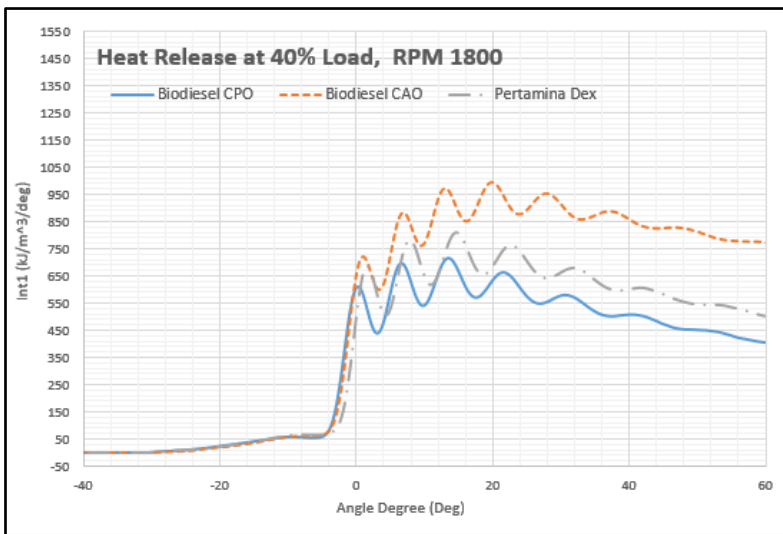
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 40%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 40%

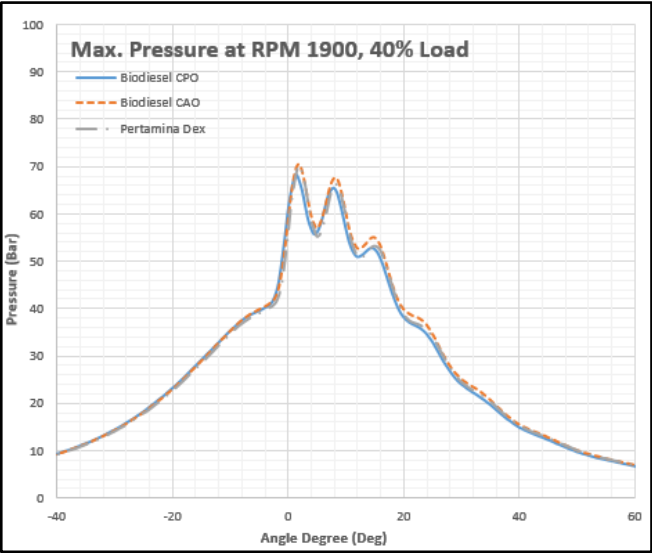


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 40%

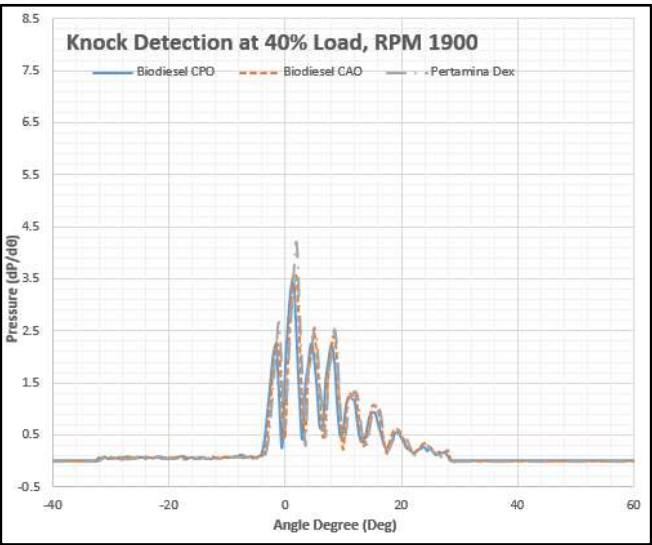


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 40%

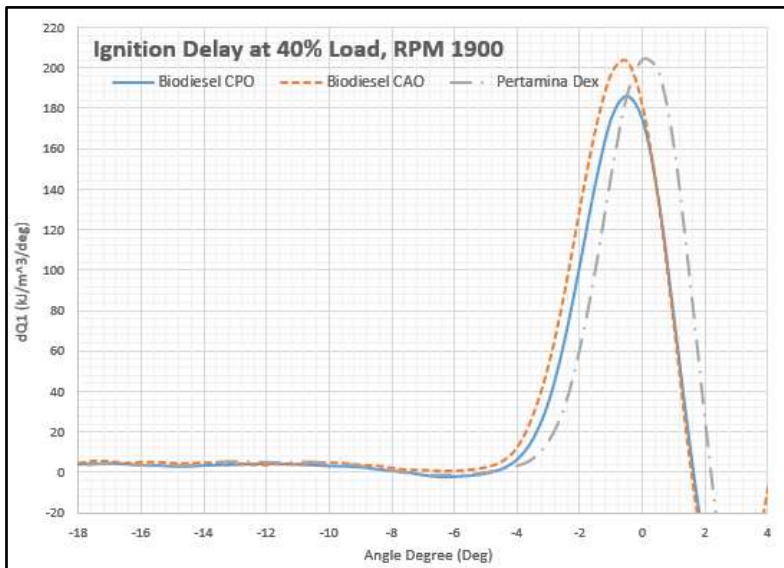
1. Grafik RPM 1900, 40% Load



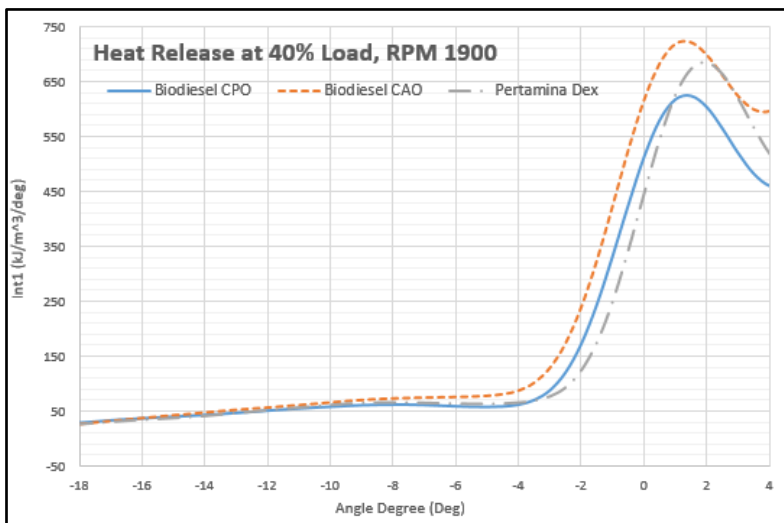
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1900, Load 40%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1900, Load 40%

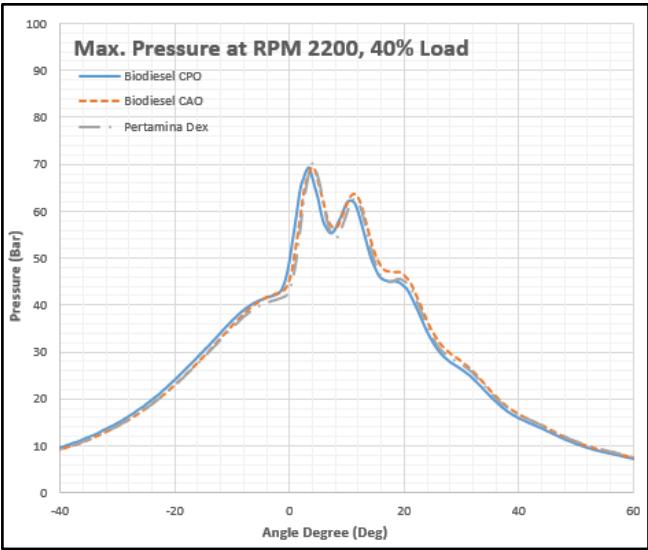


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 40%

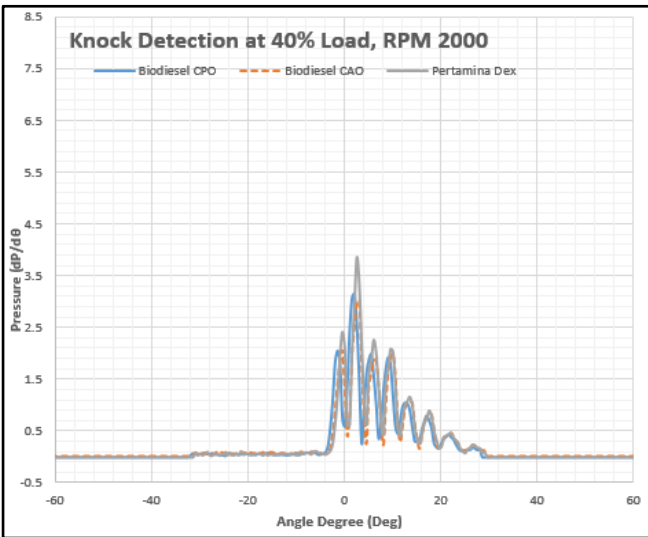


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 40%

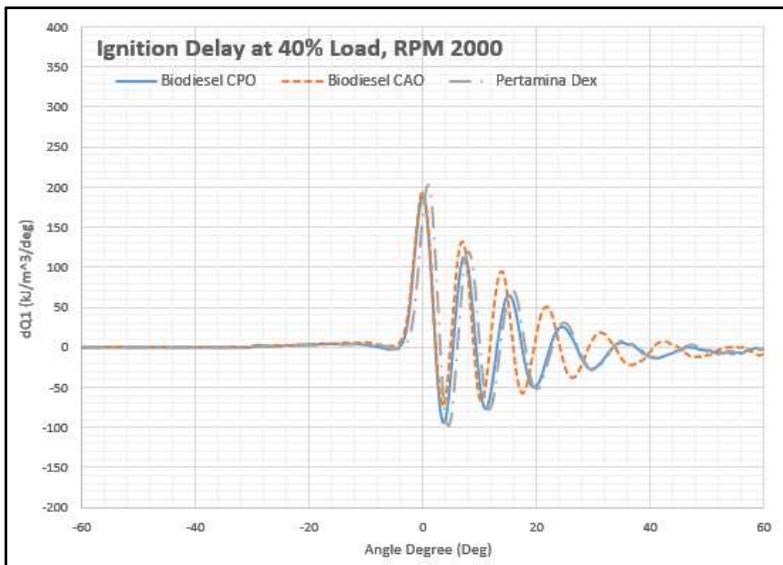
m. Grafik RPM 2000, 40% Load



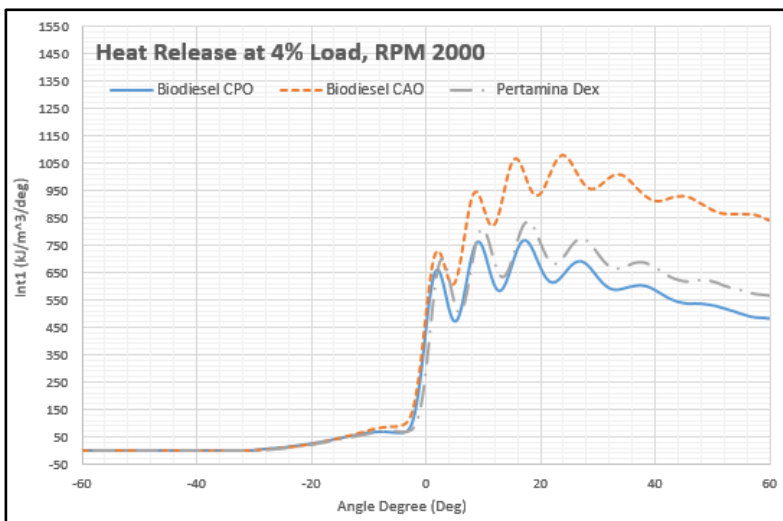
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2000, Load 40%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2000, Load 40%

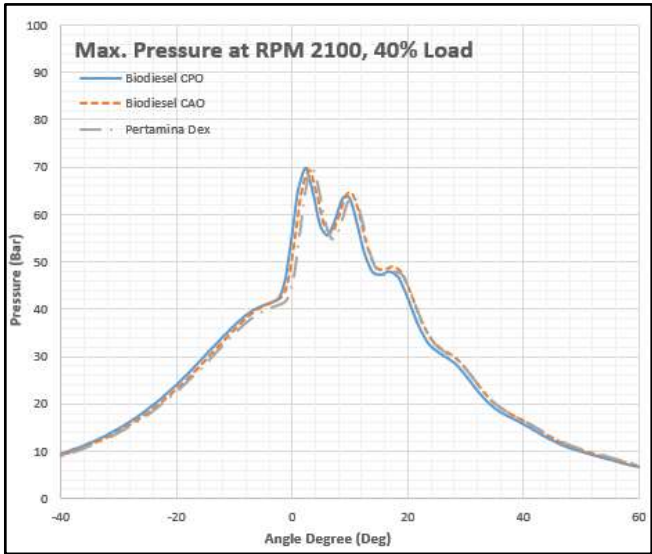


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 40%

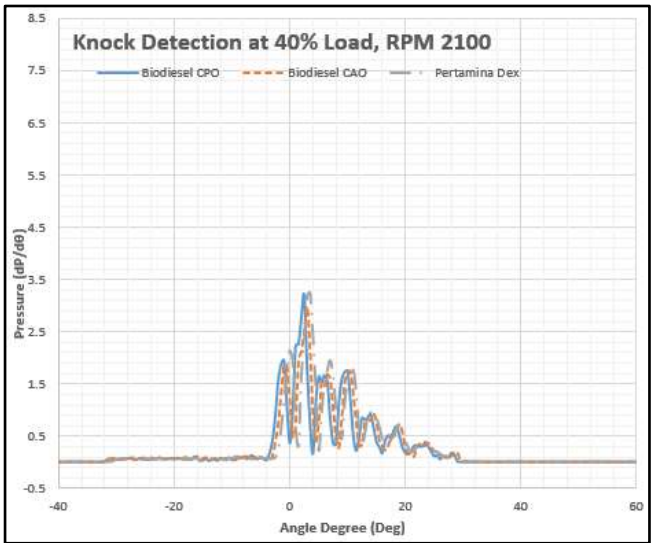


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 40%

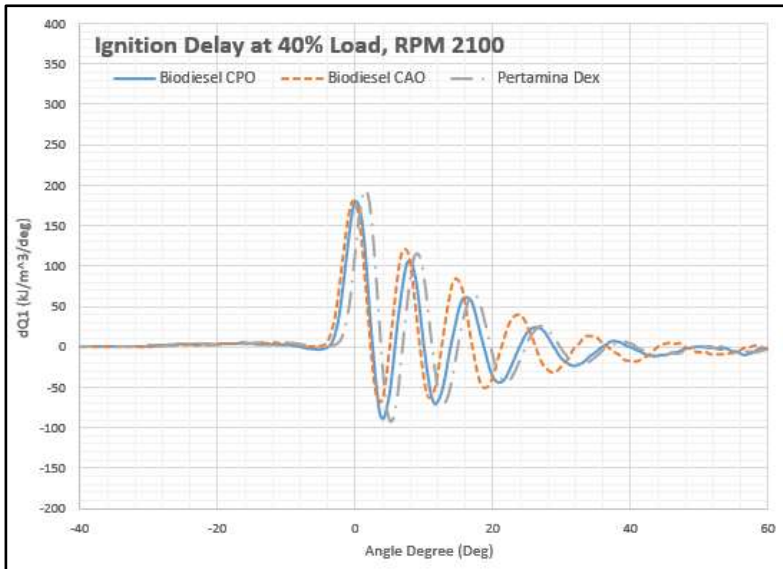
n. **Grafik RPM 2100, 40% Load**



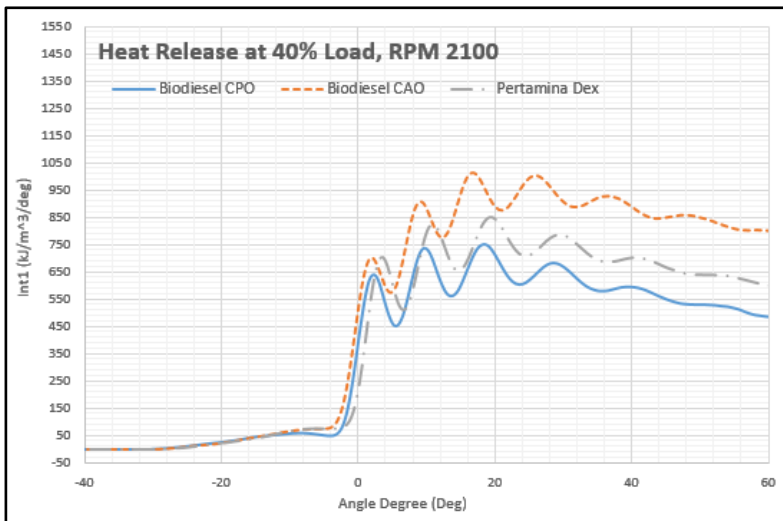
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 40%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 40%

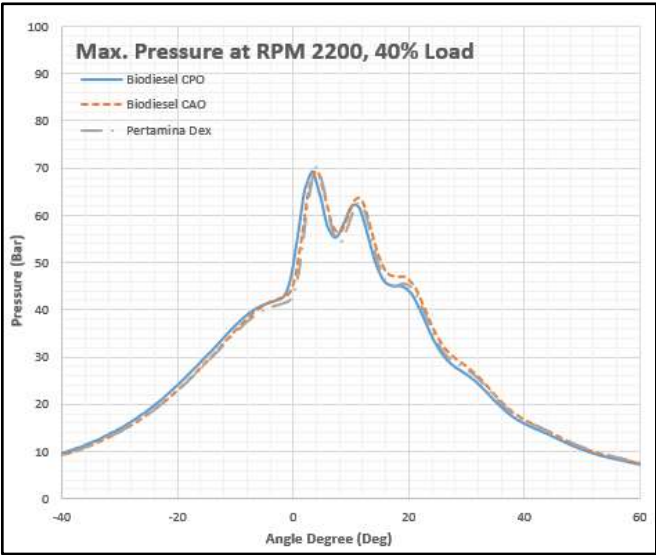


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 40%

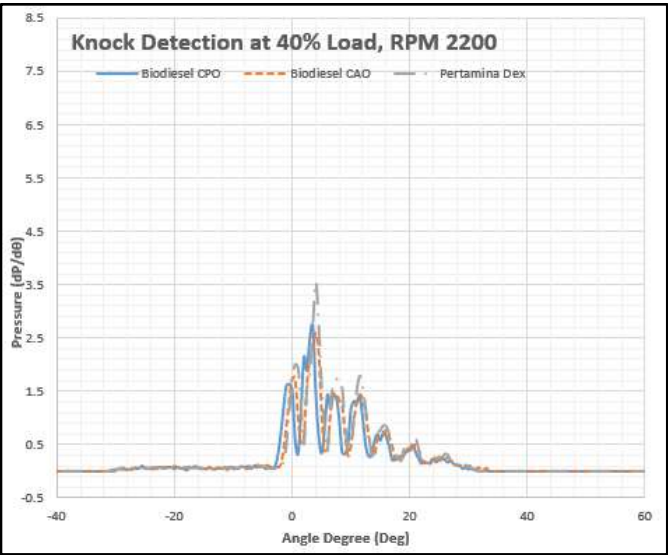


4. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 40%

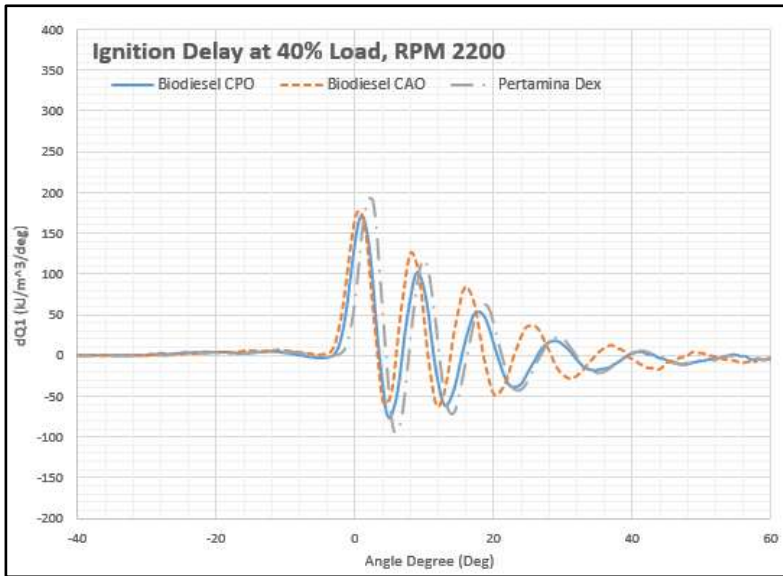
o. **Grafik RPM 2200, 40% Load**



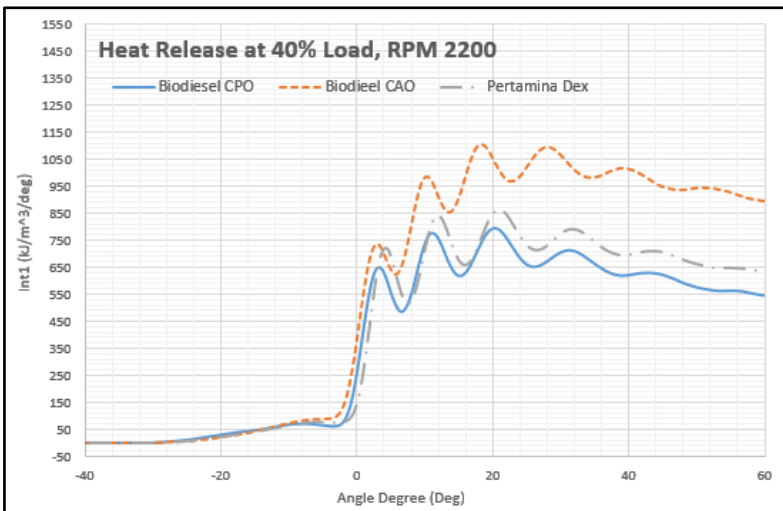
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 40%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 40%

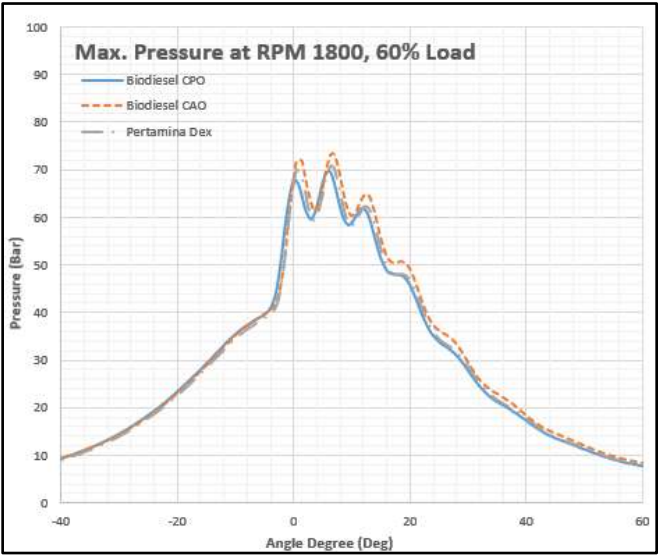


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 40%

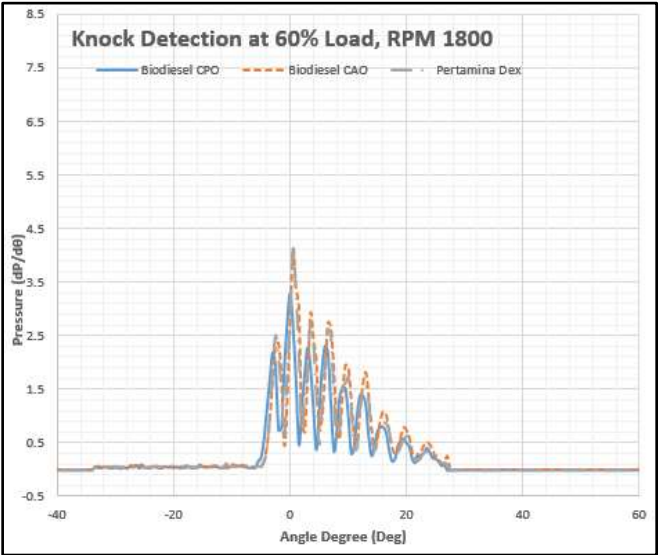


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 40%

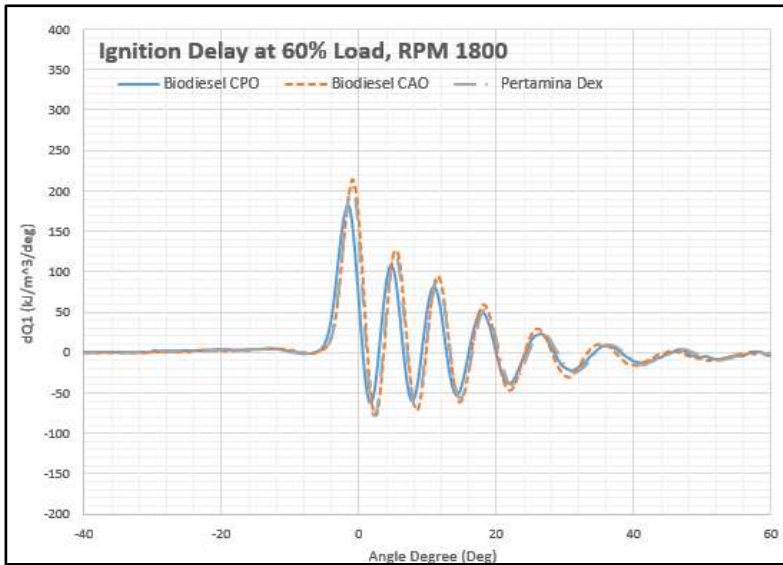
p. **Grafik RPM 1800, 60% Load**



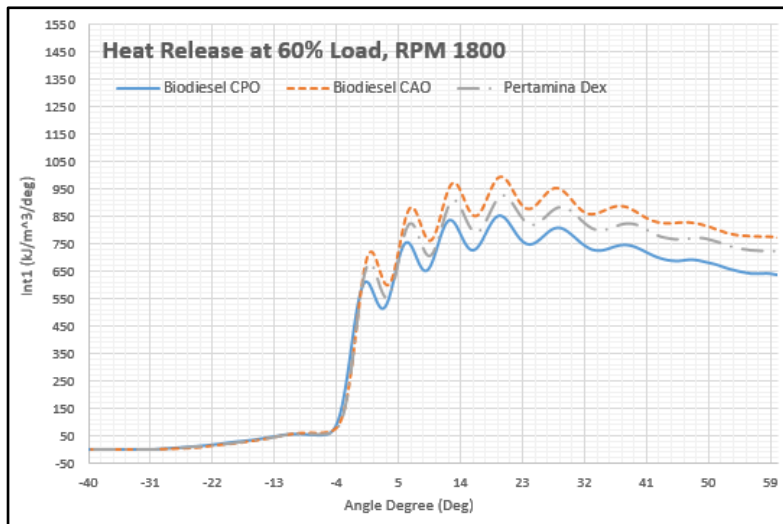
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 60%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 60%

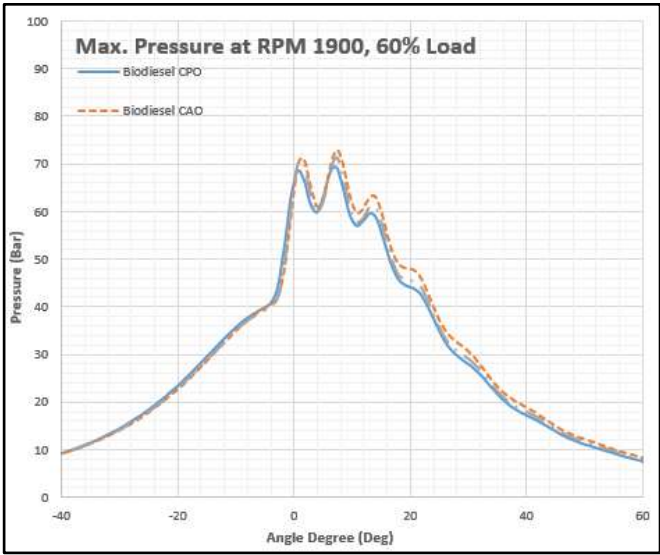


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 60%

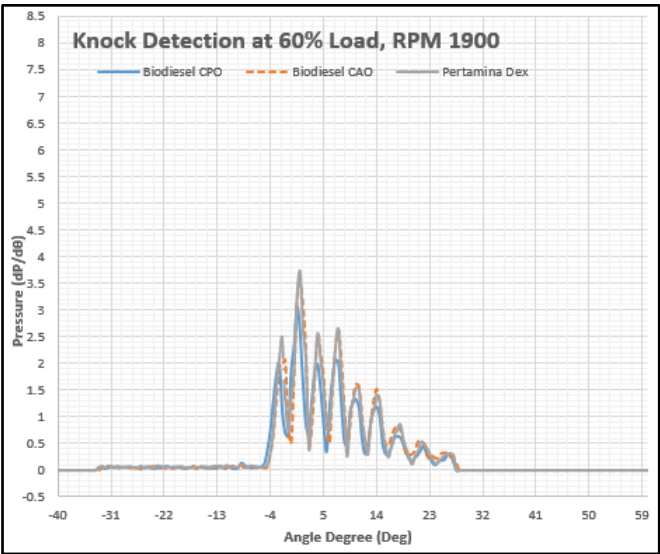


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 60%

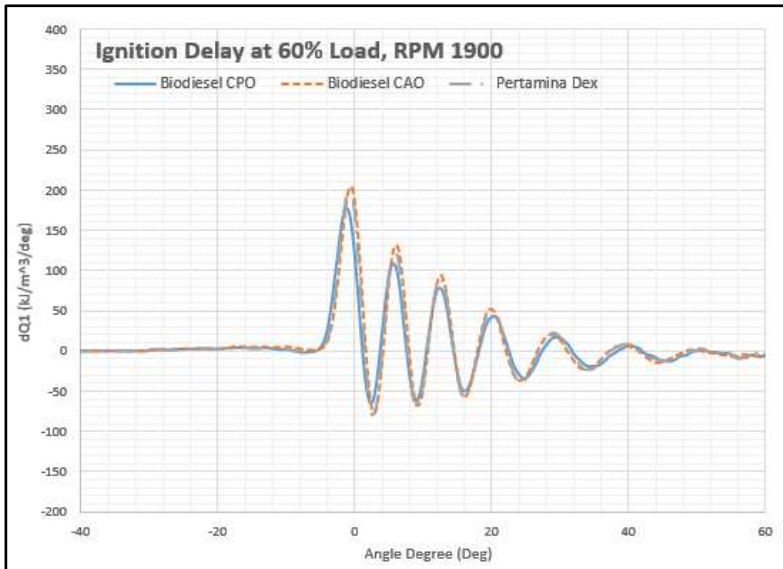
q. **Grafik RPM 1900, 60% Load**



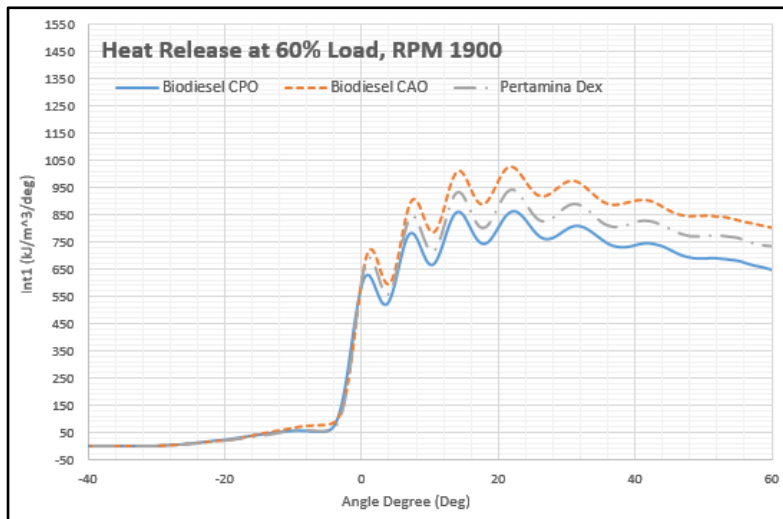
1. *Gambar Grafik Maximum Pressure RPM 1900, Load 60%*



2. *Gambar Grafik Knock Detection RPM 1900, Load 60%*

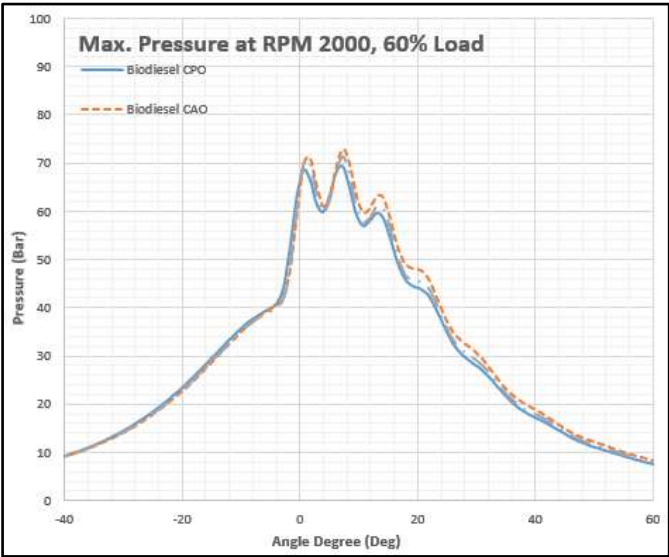


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 60%

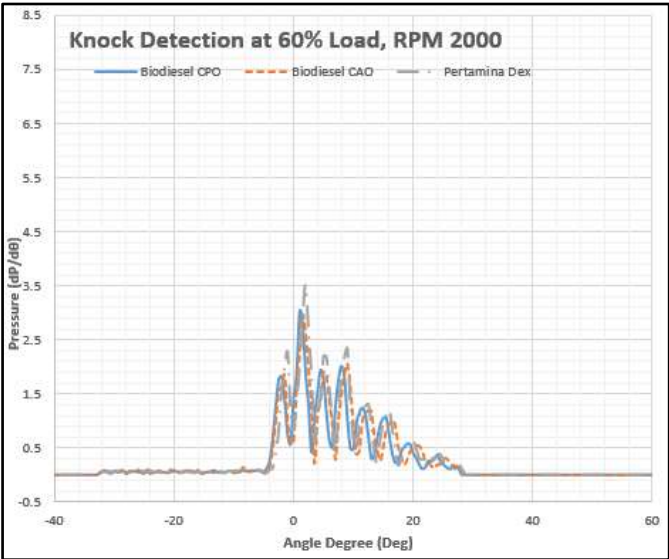


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 60%

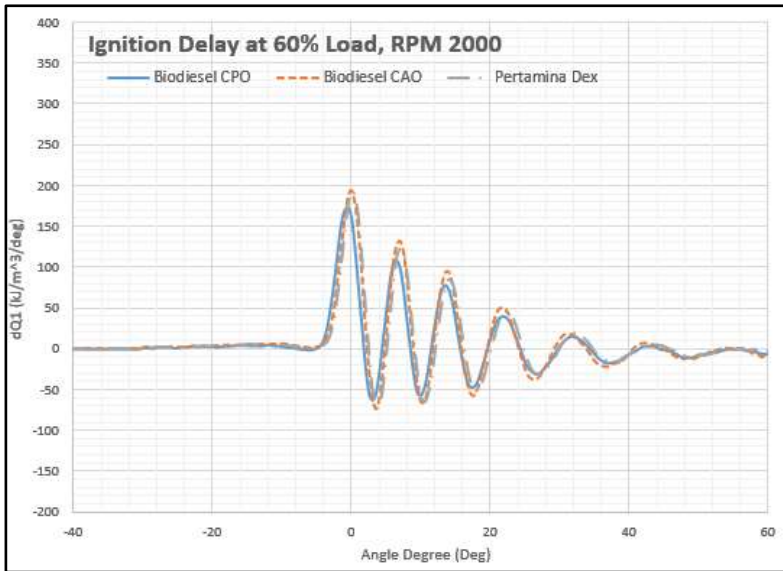
r. **Grafik RPM 2000, 60% Load**



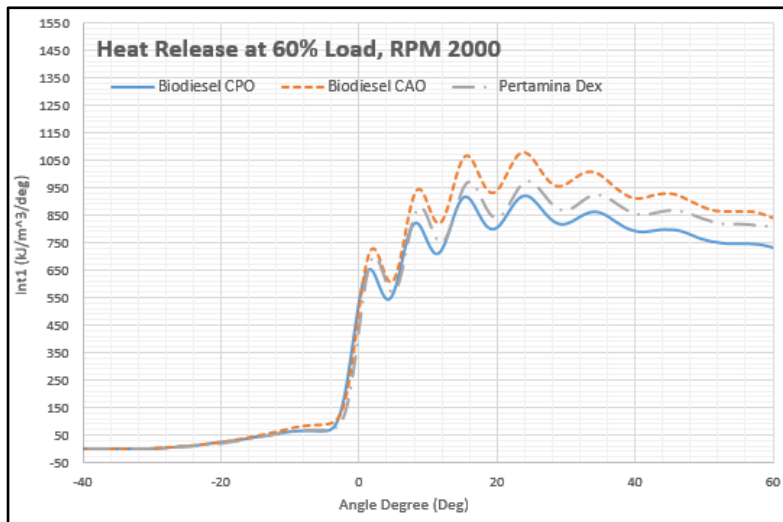
1. *Gambar Grafik Maximum Pressure RPM 2000, Load 60%*



2. *Gambar Grafik Knock Detection RPM 2000, Load 60%*

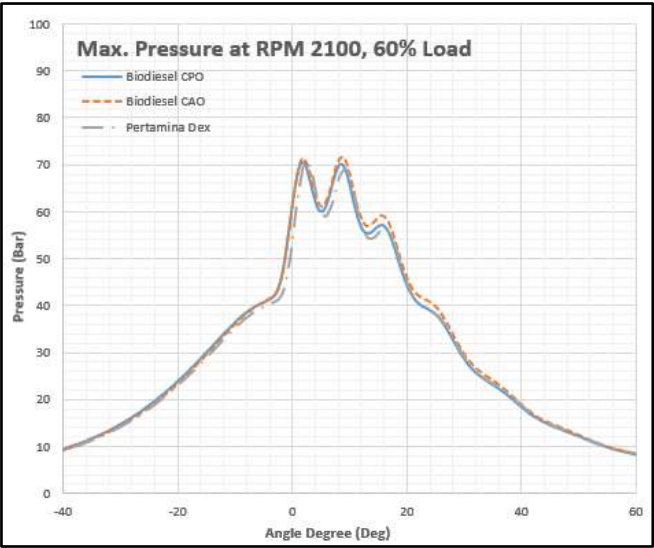


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 60%

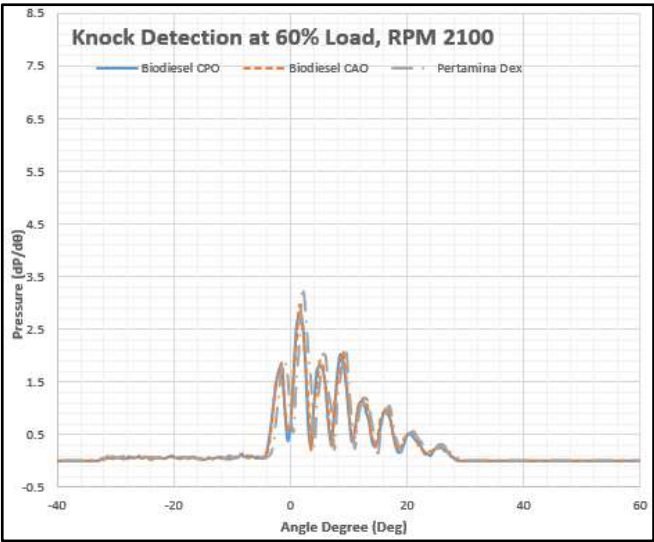


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 60%

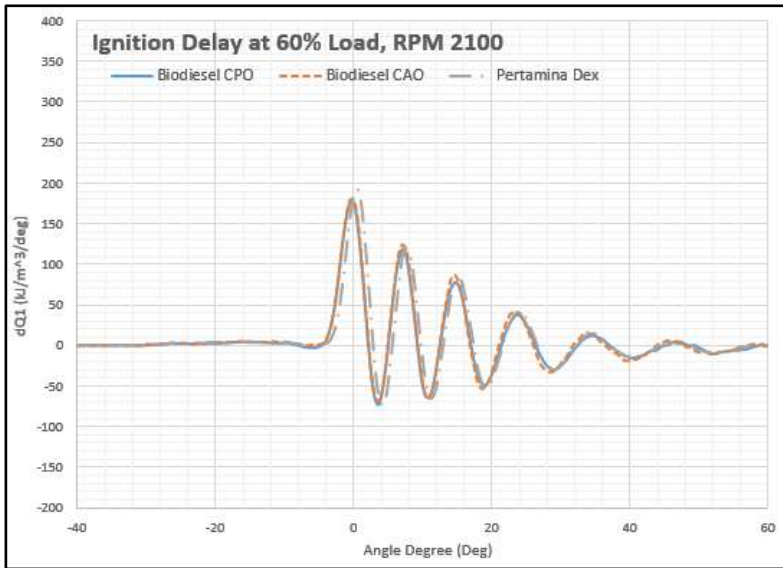
s. **Grafik RPM 2100, 60% Load**



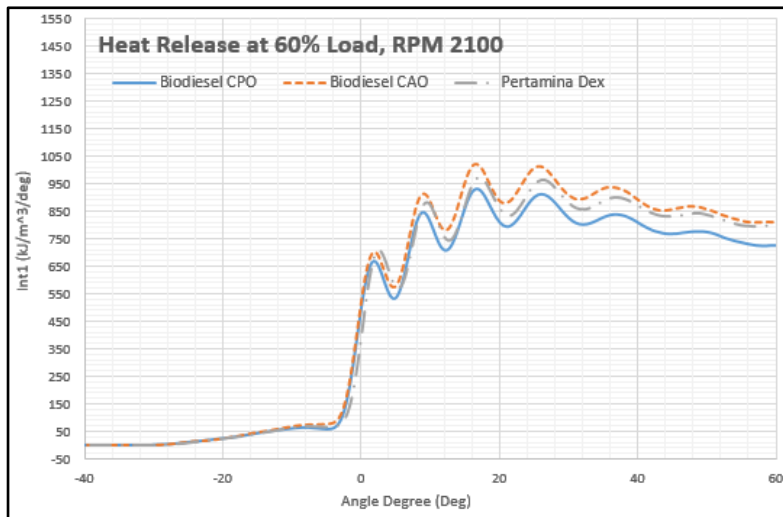
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 60%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 60%

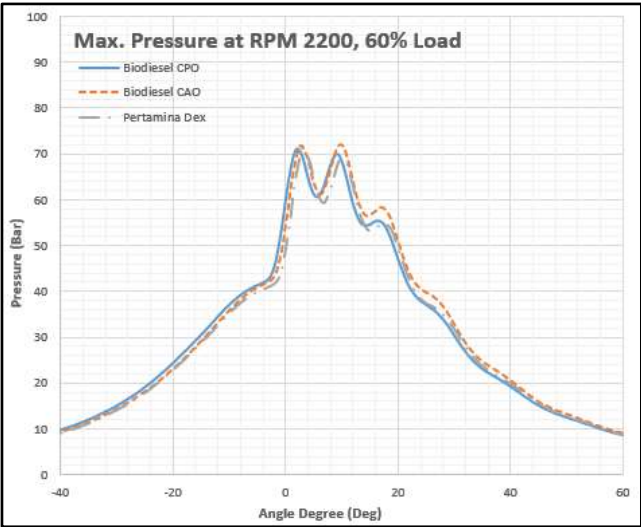


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 60%

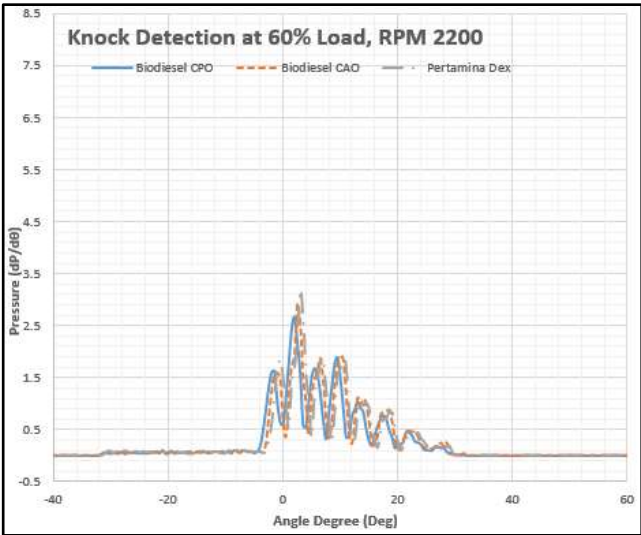


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2100, Load 60%

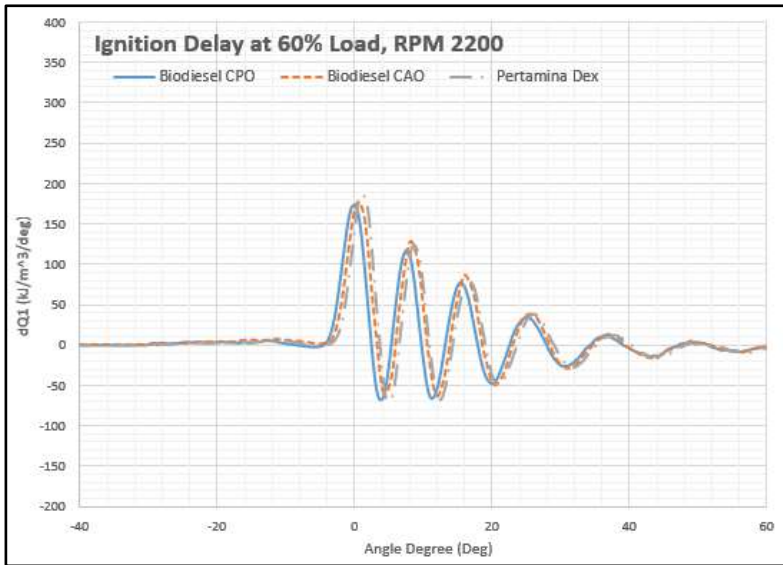
t. **Grafik RPM 2200, 60% Load**



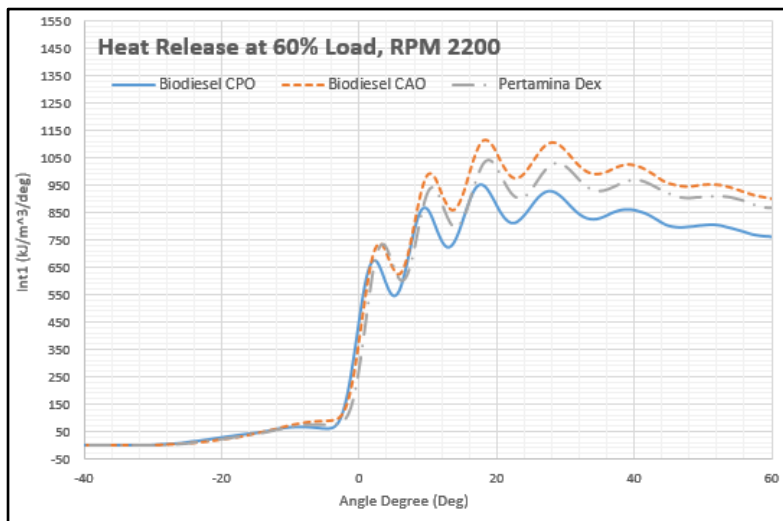
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 60%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 60%

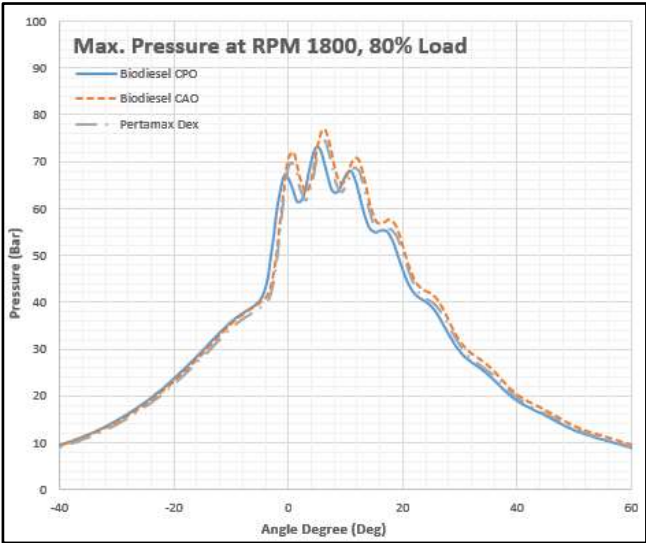


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 60%

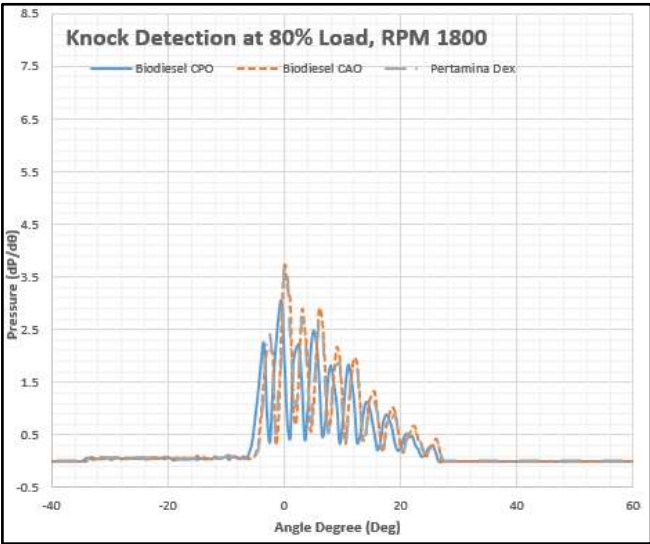


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 60%

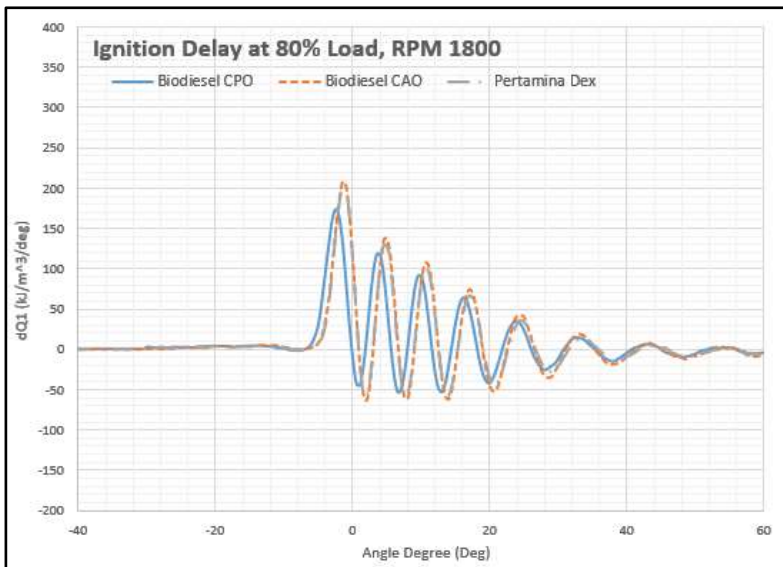
u. **Grafik RPM 1800, 80% Load**



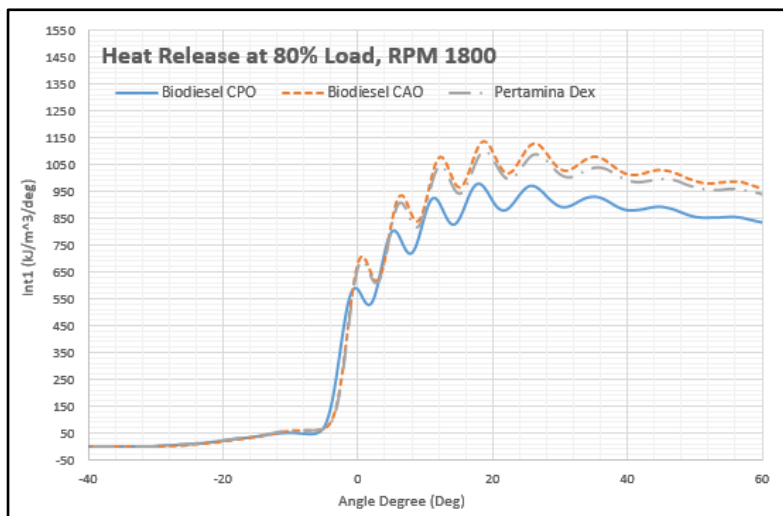
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 80%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 80%

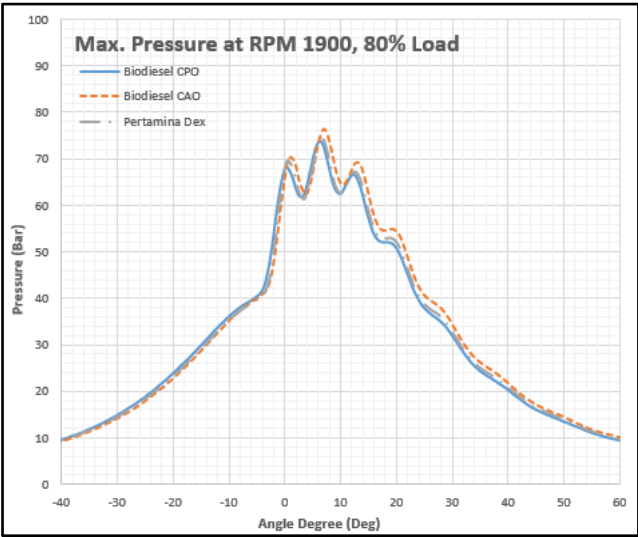


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 80%

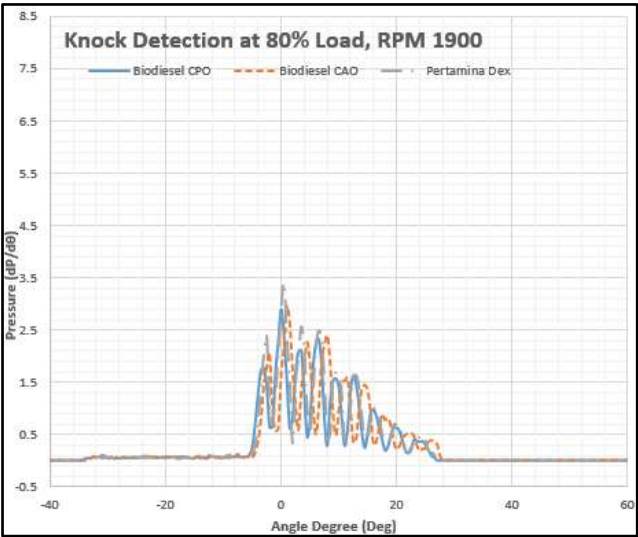


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 80%

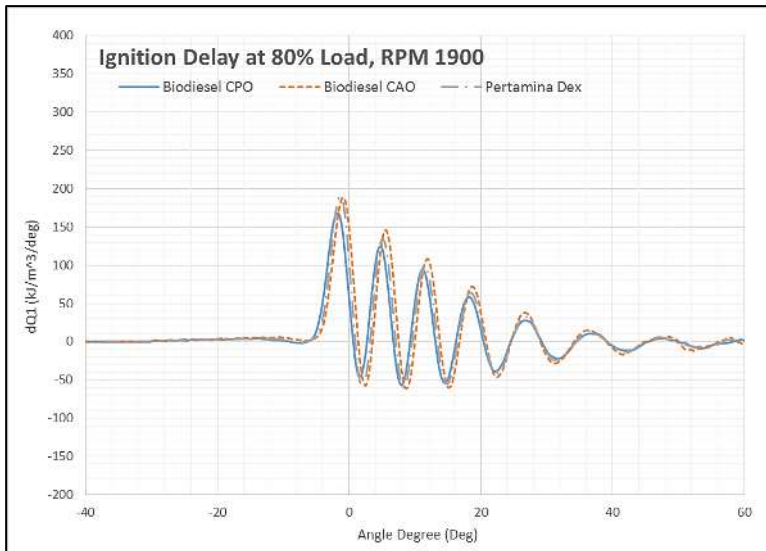
v. **Grafik RPM 1900, 80% Load**



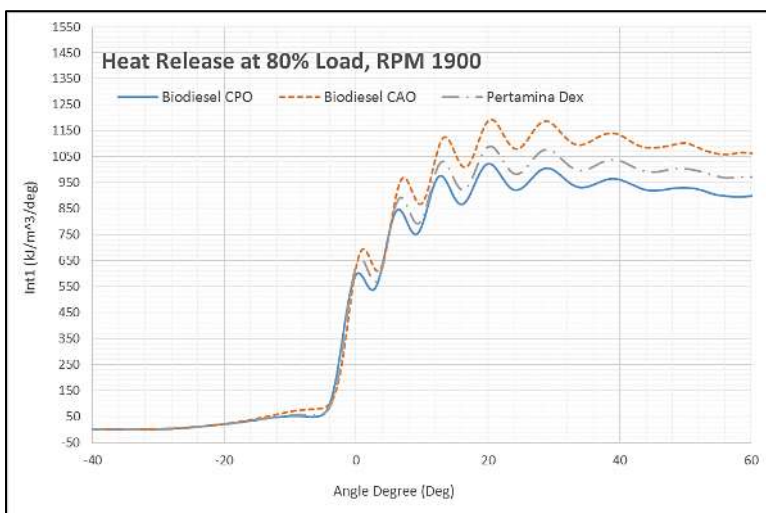
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1900, Load 80%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1900, Load 80%

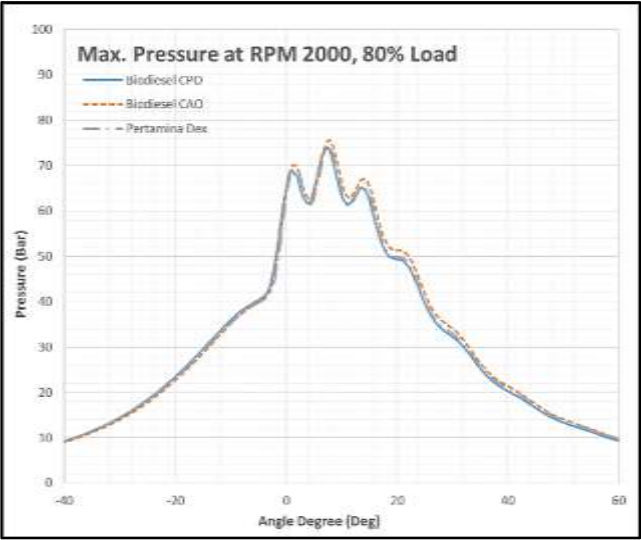


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 80%

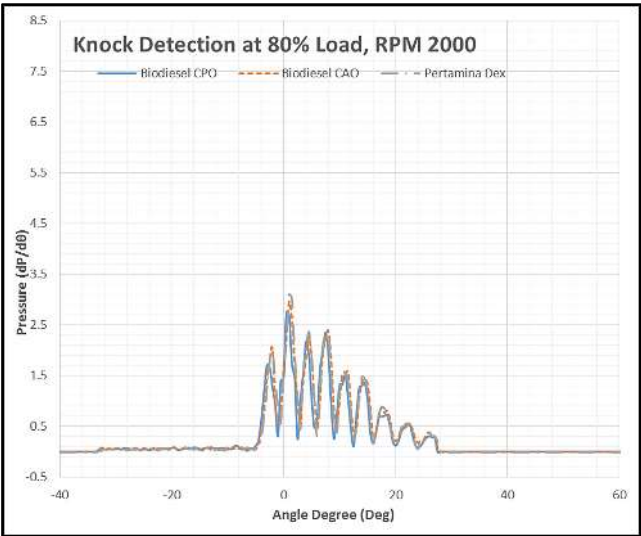


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 80%

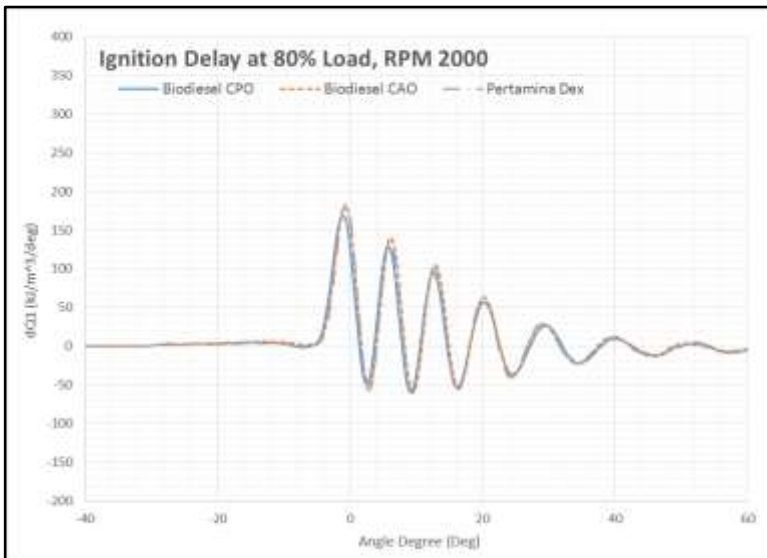
w. **Grafik RPM 2000, 80% Load**



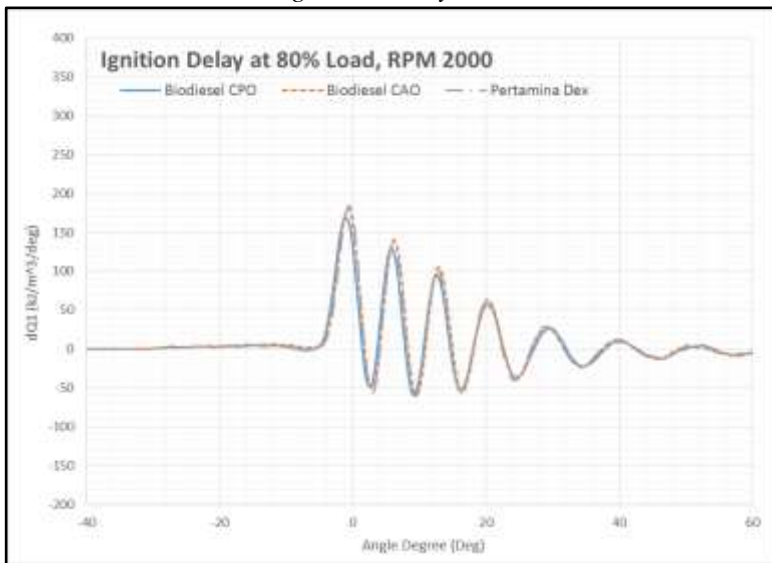
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2000, Load 80%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2000, Load 80%

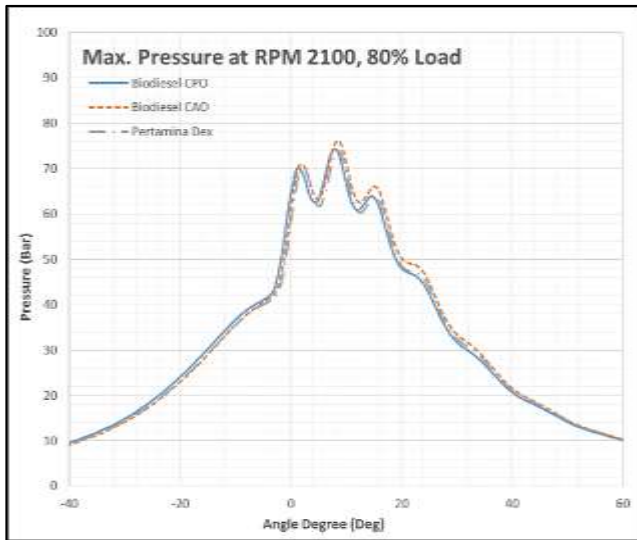


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 80%

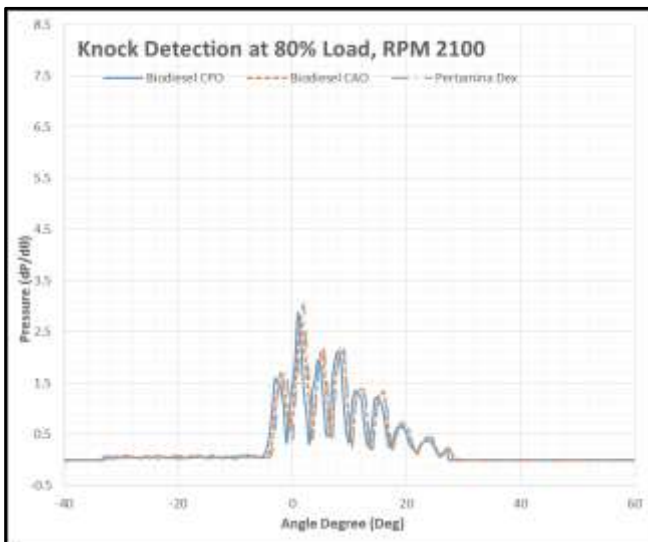


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 80%

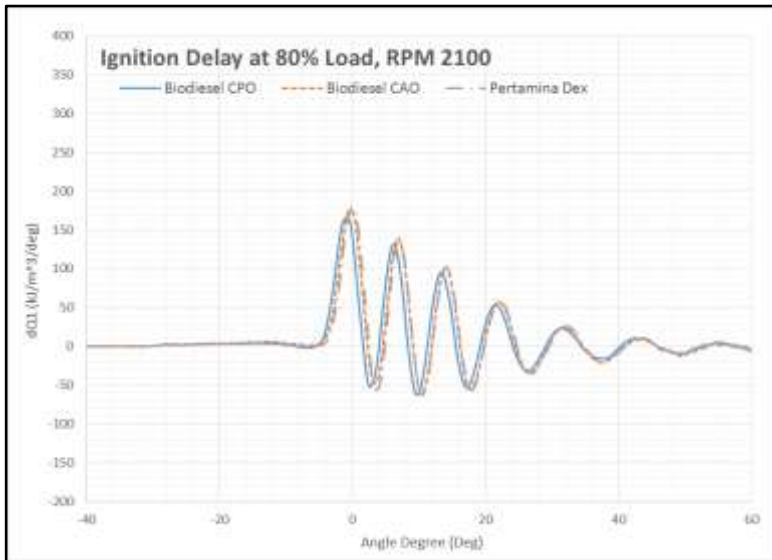
x. **Grafik RPM 2100, 80% Lod**



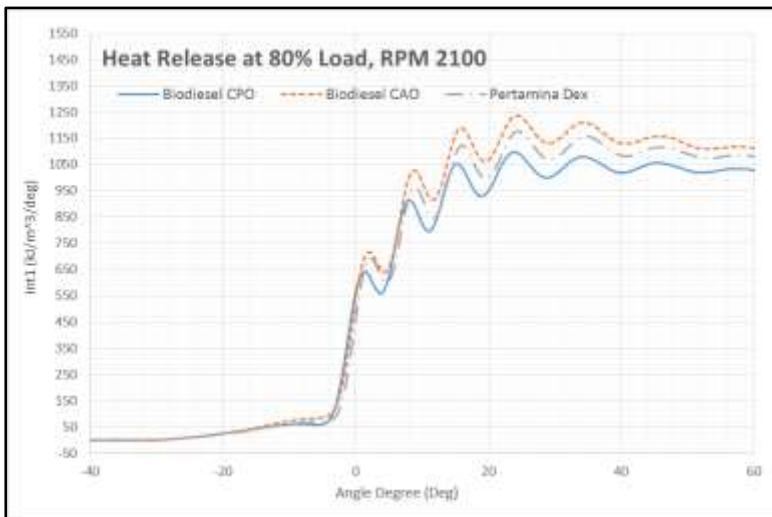
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 80%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 80%

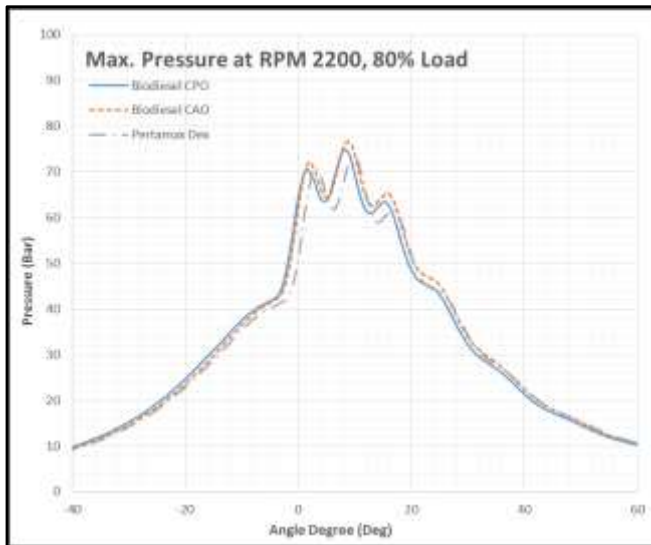


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 80%

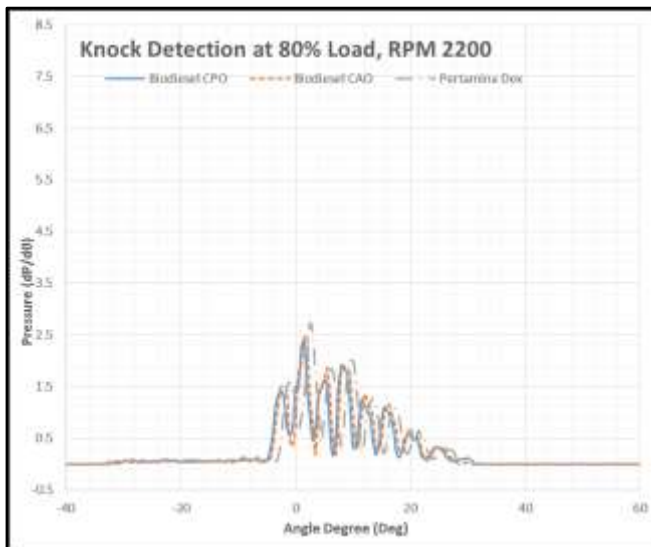


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2100, Load 80%

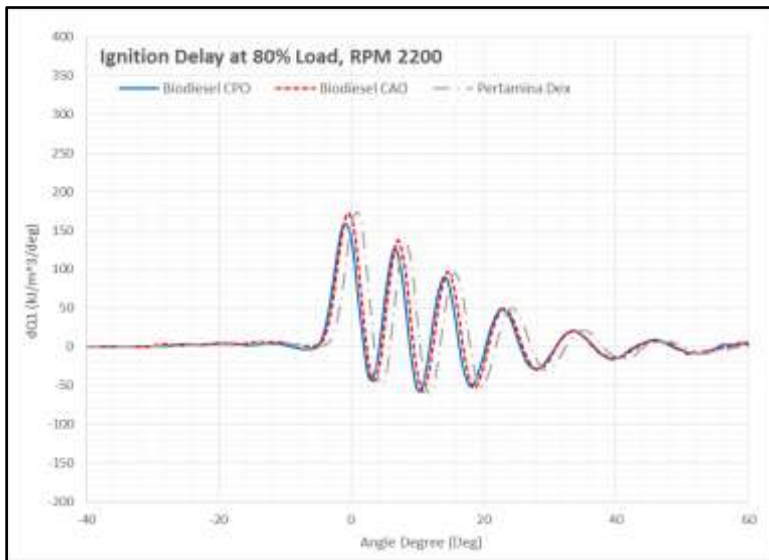
y. **Grafik RPM 2200, 80% Load**



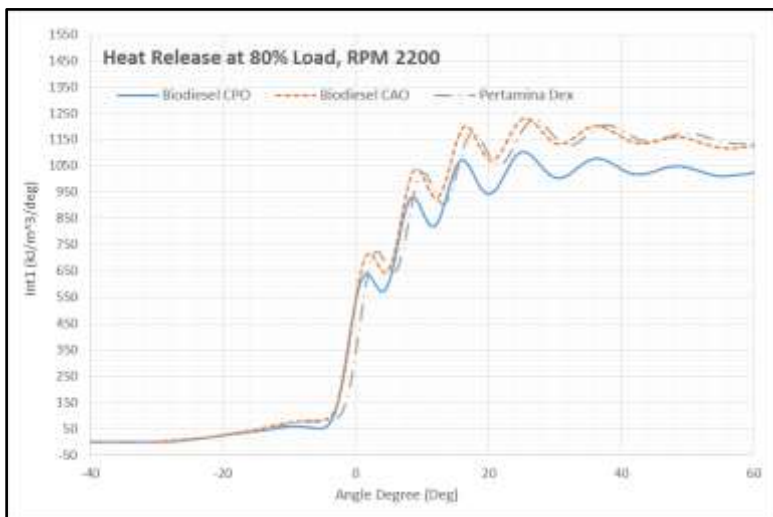
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 80%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 80%

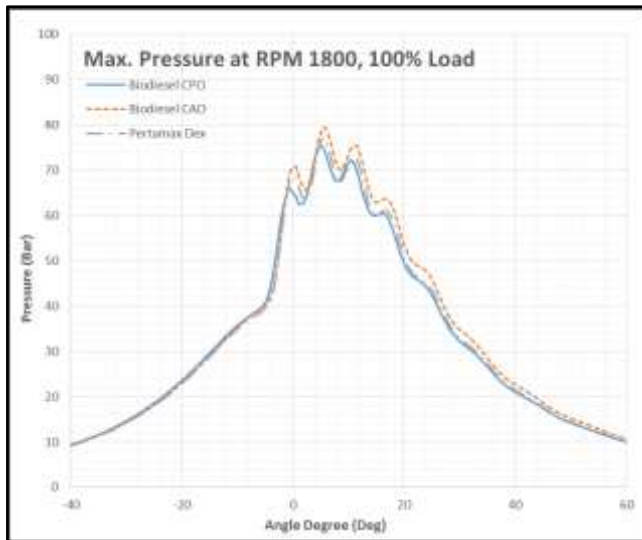


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 80%

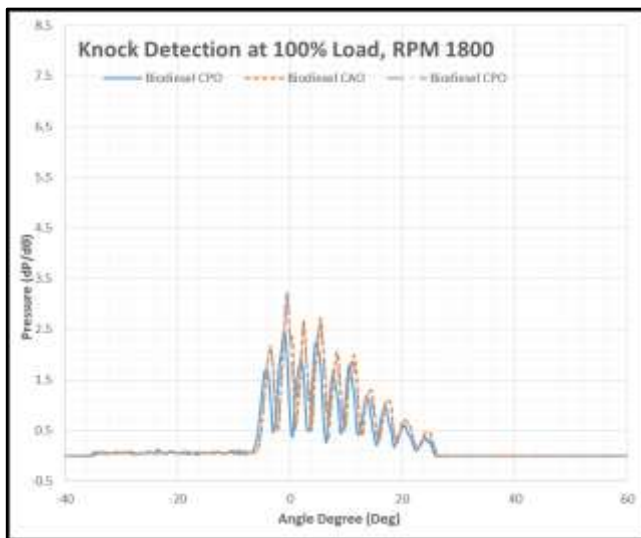


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 80%

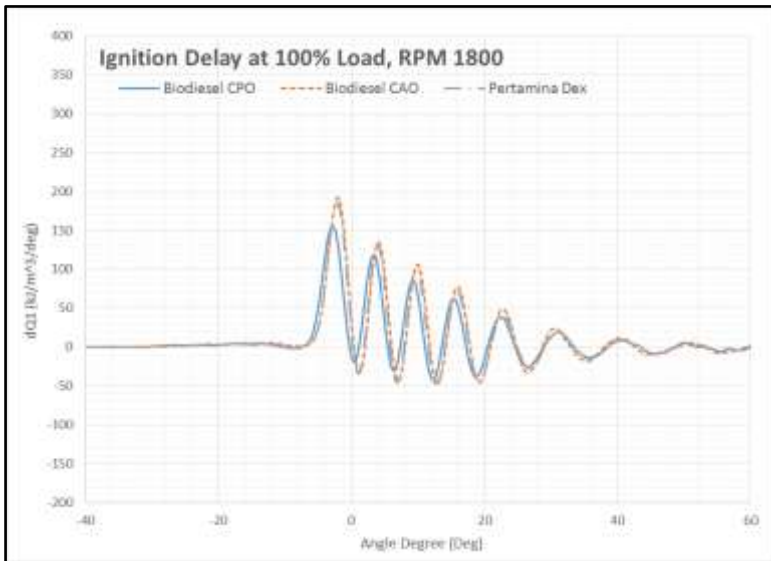
z. Grafik RPM 1800, 100% Load



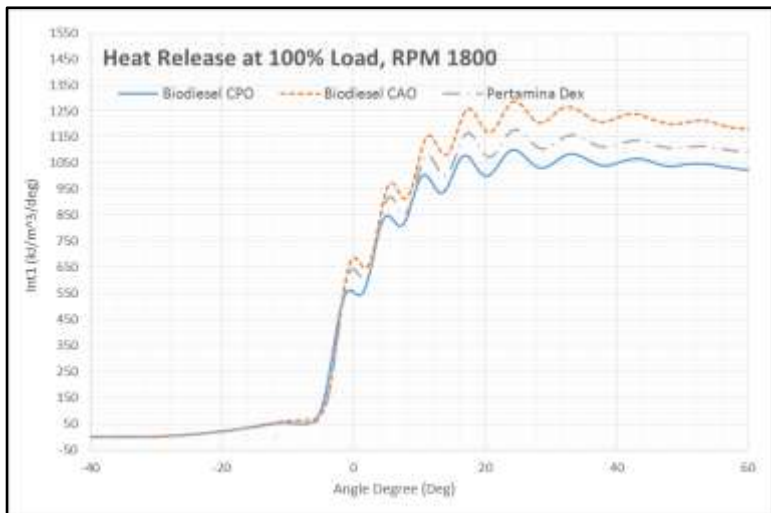
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1800, Load 100%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1800, Load 100%

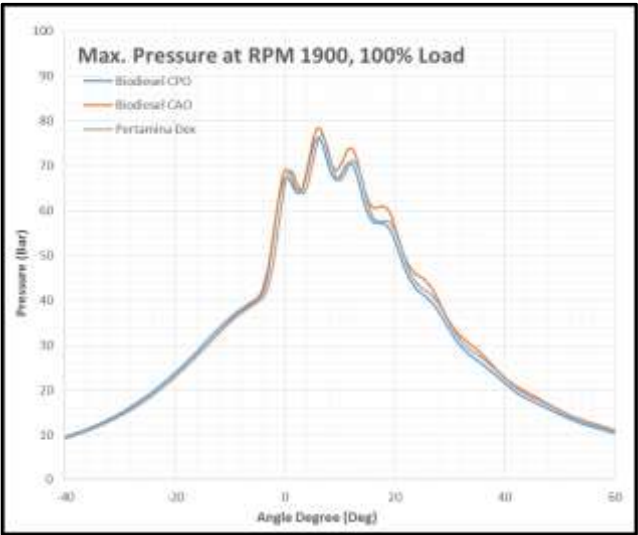


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1800, Load 100%

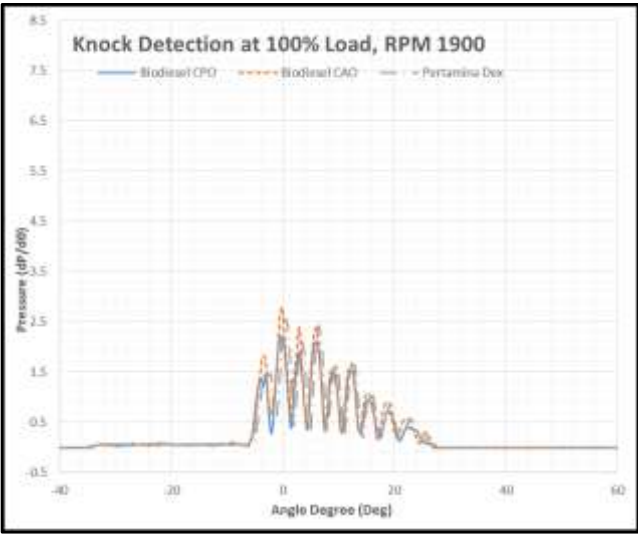


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1800, Load 100%

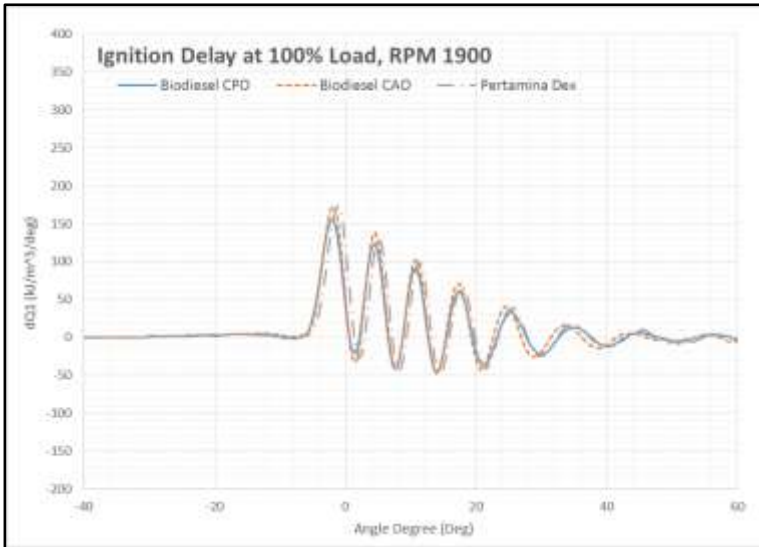
aa. Grafik RPM 1900, 100% Load



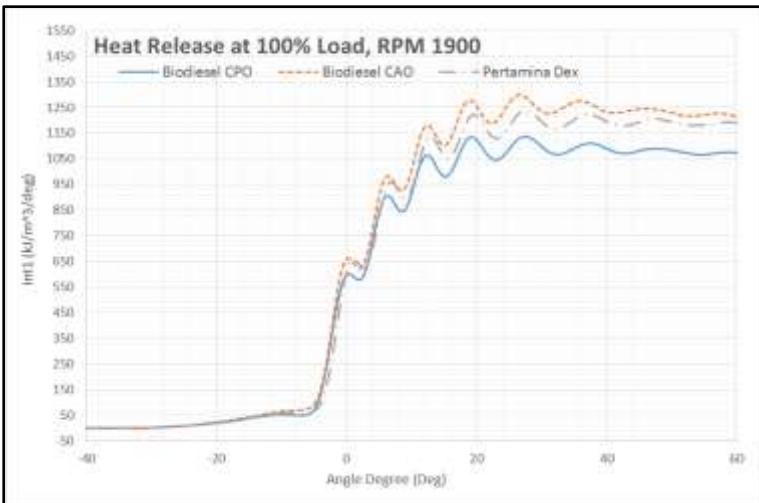
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 1900, Load 100%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 1900, Load 100%

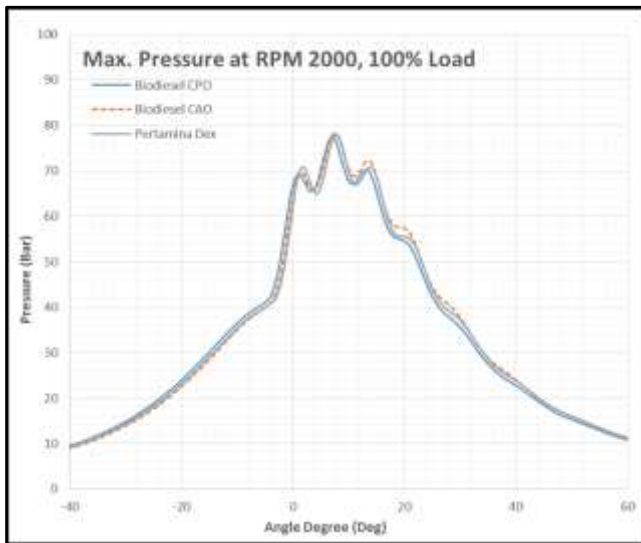


2. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 1900, Load 100%

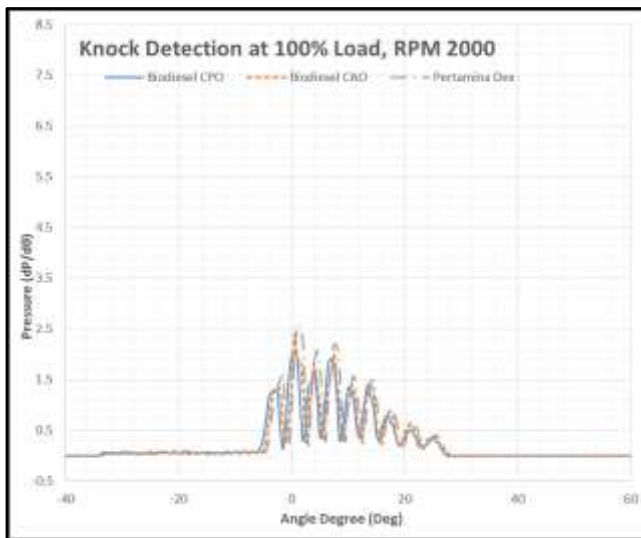


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 1900, Load 100%

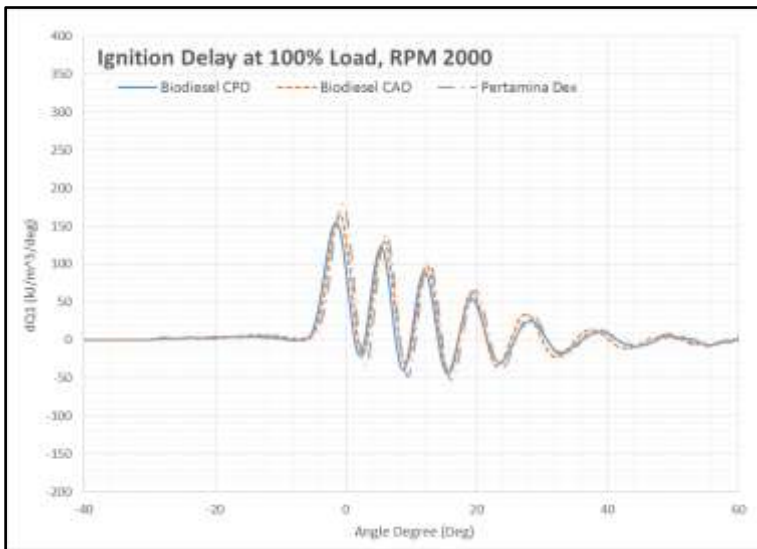
bb. Grafik RPM 2000, 100% Load



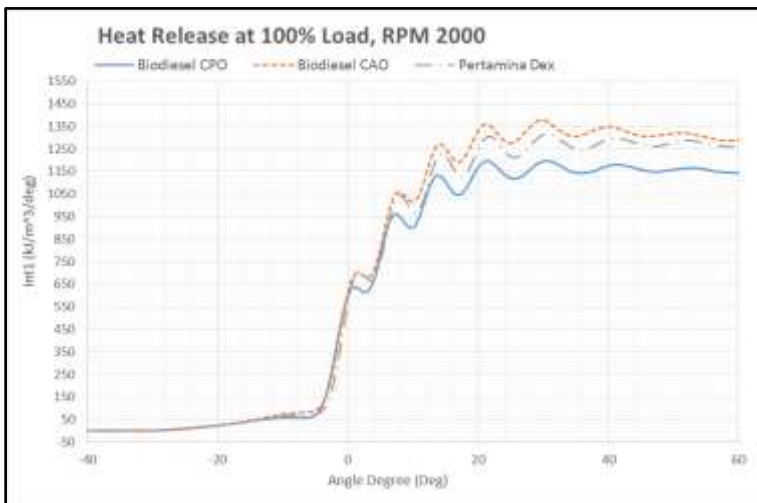
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2000, Load 100%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2000, Load 100%

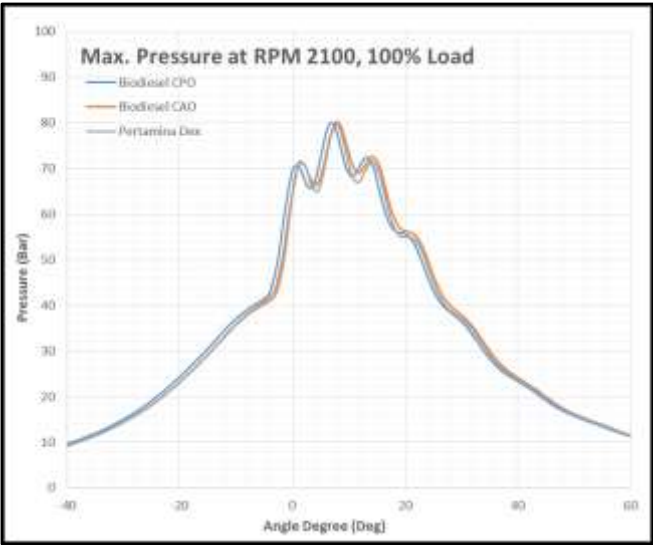


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2000, Load 100%

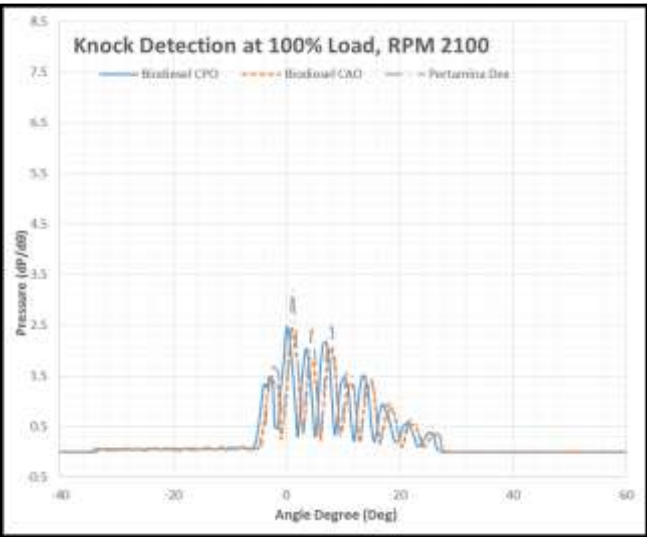


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2000, Load 100%

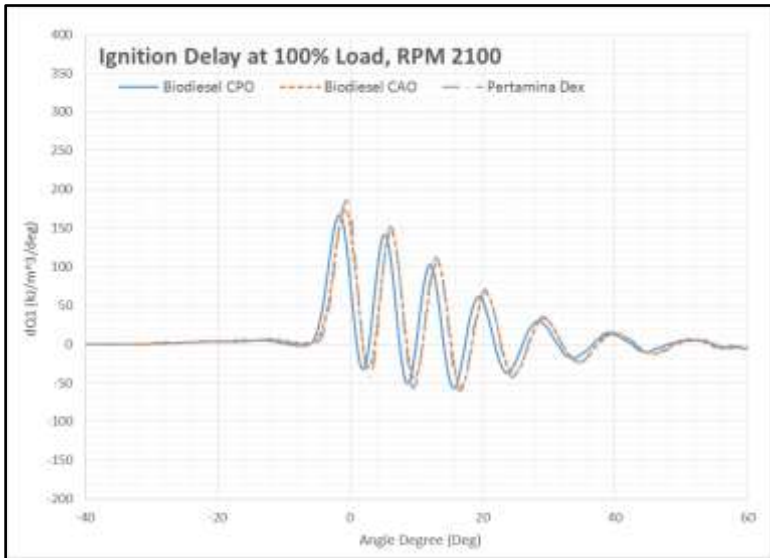
cc. **Grafik RPM 2100, 100% Load**



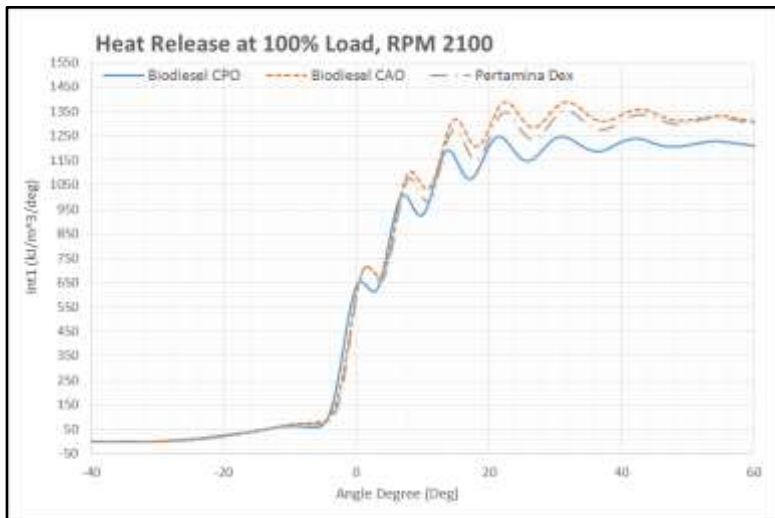
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2100, Load 100%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2100, Load 100%

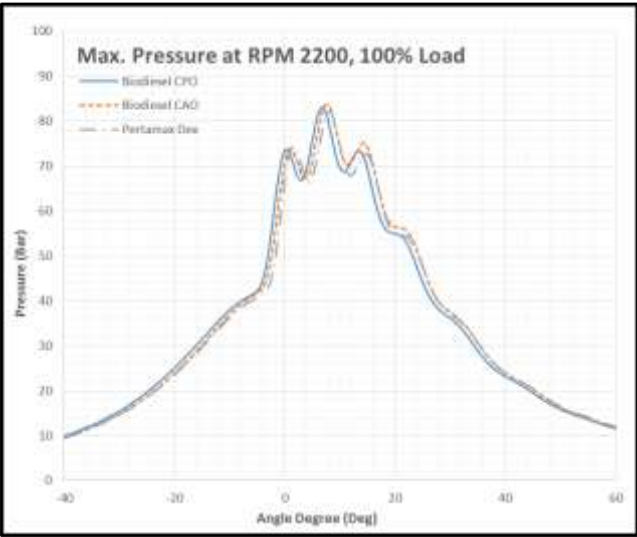


3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2100, Load 100%

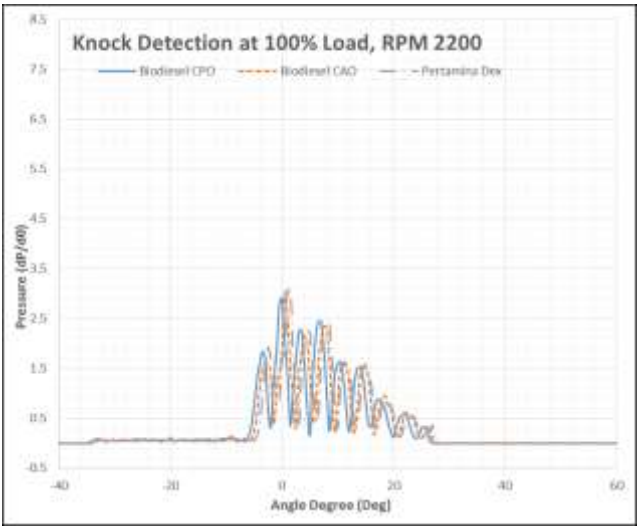


4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2100, Load 100%

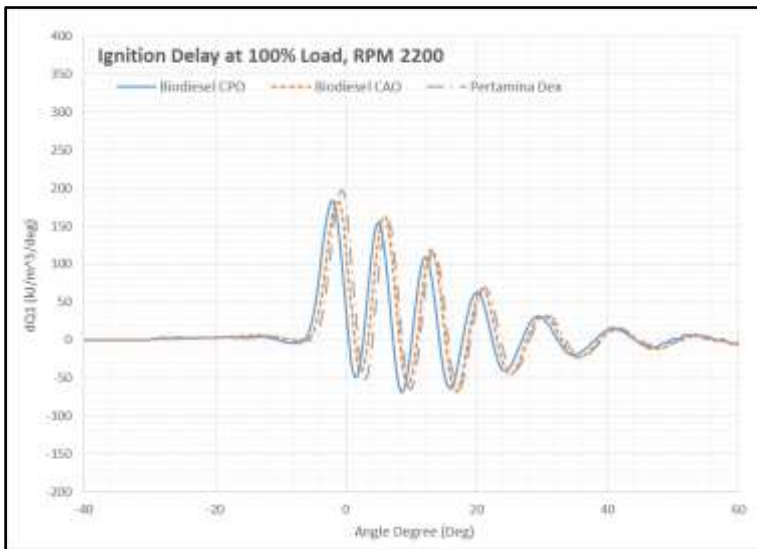
dd. Grafik RPM 2200, 100% Load



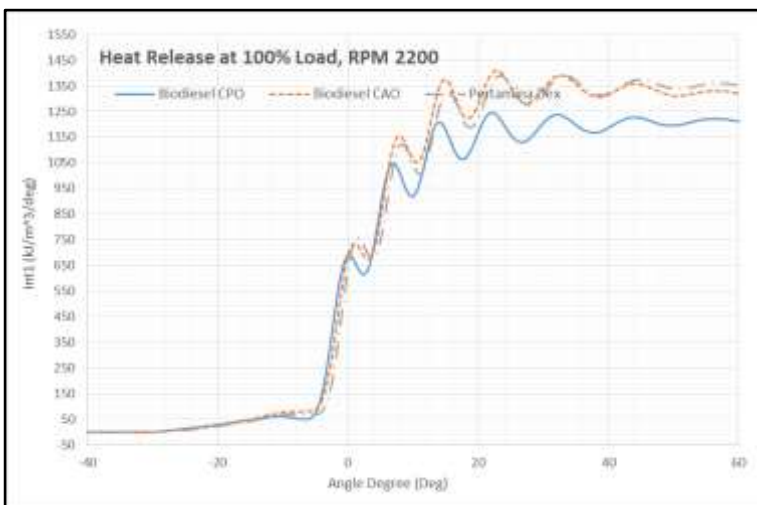
1. Gambar Grafik *Maximum Pressure* RPM 2200, Load 100%



2. Gambar Grafik *Knock Detection* RPM 2200, Load 100%



3. Gambar Grafik *Ignition Delay* RPM 2200, Load 100%



4. Gambar Grafik *Heat Release* RPM 2200, Load 100%

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari analisis perbandingan proses pembakaran dengan bahan bakar Biodiesel Minyak Kelapa Sawit 20% (BCPO20%) dengan Biodiesel Minyak Umbi Porang (BCAO20%) ini, dapat ditarik kesimpulan seperti berikut :

- A. Prosedur melakukan analisis proses pembakaran adalah dengan melakukan Hardware Setup yang diantaranya adalah Analog Device Setup, Timing Device Setup dan Analog Signal Setup. Kemudian dilanjut dengan Proses Combustion Setup yang terdiri dari Basic Parameter Setup, Angle Sensor Setup, Top Dead Center Detection Setup dan Output Setup. Dan yang terakhir adalah analisis hasil proses pembakaran yang terdiri dari analisis Ignition Delay, Heat Release, Max. Pressure dan Knock Detection.
- B. Hasil proses pembakaran yang dapat diketahui dari 4 variabel diantaranya sebagai berikut:
 - 1. Untuk perbandingan diantara ketiga bahan bakar yang berada di puncak tertinggi hingga terendah tekanan maksimalnya adalah bahan bakar Biodiesel CAO, Pertamina Dex dan Biodiesel CPO dengan rata-rata kenaikan tiap RPM 3-9 %.
 - 2. Untuk perbandingan diantara ketiga bahan bakar yang paling lama waktu penginjeksiannya hingga paling cepat waktu penginjeksiannya bahan bakar Biodiesel CAO, Pertamina Dex dan Biodiesel CPO dengan rata-rata kenaikan tiap RPM 4-7 %..
 - 3. Untuk perbandingan diantara ketiga bahan bakar yang paling tinggi produksi energi panasnya hingga yang paling rendah produksi energi panasnya adalah bahan bakar Biodiesel CAO, Pertamina Dex

dan Biodiesel CPO dengan rata-rata kenaikan tiap RPM 4-6 %..

- C. Dalam analisis proses pembakaran, Biodiesel Umbi Porang (BCAO 20%) merupakan bahan bakar yang paling banyak mengeluarkan energinya dibandingkan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit (BCPO 20%), hal tersebut ditunjukkan pada grafik Tekanan Maksimal (*Maximum Pressure*) yang paling tinggi. Tekanan tersebut disebabkan energi panas yang tinggi yang dapat dilihat pada grafik *Heat Release*. Waktu penginjeksian (*Ignition Delay*) yang lebih lambat dan knocking (*Knock Detection*) juga menjadi salah satu penyebab meningkatnya energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar ini.

4.2. Saran

- a. Dari segi ekonomi, proses pembuatan biodiesel CAO (*A. Oncophilus*) sangat memerlukan biaya banyak. Hal ini dikarenakan kandungan minyak yang sedikit serta proses pembuatan yang rumit.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik yang dihasilkan dari Biodiesel CAO (*A. Oncophilus*), apakah bakar biodiesel CAO ini lebih baik dari biosolar atau bahan bakar lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Budidaya Aneka Kacang dan Umbi. 2015. *"Porang/Iles-Iles (Amorphophallus Onchophyllus)"*. Jl. Raya Ragunan No. 15 Pasar Minggu. Jakarta Selatan
- Hanif. 2004. *"Uji Prestasi Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel sebagai Bahan Bakar Alternatif"*. Jurusan Teknik Mesin.
- Nagi, J., Syed K.A., & Farrukh N. 2008. *"Palm Biodiesel an Alternative Green Renewable Energy for the Energy Demands of the Future"*. Universiti Tenaga Malaysia. Malaysia
- Prasetyo, Yudi. 2015. *"Analisa Properties Biodiesel dari Umbi Porang (Amarphopallus Onchophillus) dan Pengaruhnya Terhadap Uji Peformansi Motor Diesel"*. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS-FTK. Surabaya.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2006. *"Warta:Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit, Vol.28 No.3"*. Jl. Brigjen Katamso No. 51 Kampung Baru. Medan
- Rahayu, Martini. 2015. *"Teknologi Proses Produksi Biodiesel"*. Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substansi Bahan Bakar Minyak
- Ramos, B. 2012. *"Production Of Biodiesel From Vegetable Oils"*. Departement of Chemical Science and Tecnology, Royal Institute of Technology (KTH). Stockholn, Sweden
- Sudarmanta, B. & Djoko Sungkono. 2015. *"Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan menggunakan Injektor Motor Diesel"*. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Surabaya

Zuhdi, Aguk M.F., Tris Buwono, dll. 2003. *“Biodiesel sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel”*. Laporan Riset – Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Energi. Surabaya



Penulis, Gusma Hamdana Putra lahir di Blitar pada 13 Juli 1994. Penulis yang bertempat tinggal di Kabupaten Tulungagung dan telah lulus dari SMA Negeri 1 Kauman ini berdomisili di Surabaya sejak tahun 2012 untuk menempuh perkuliahan gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS dengan NRP 4212100007.

Ditahun ketiga, Penulis mengambil salah satu bidang studi di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan yaitu Marine Power Plant (MPP).

Selama kuliah, penulis selain aktif mengikuti serangkaian studi juga aktif dalam berorganisasi. Dimana pernah menjadi Staff HIMASISKAL dan Staff BEM FTK di tahun kedua, juga menjadi Pengurus Inti BEM FTK di tahun ketiga. Pada tahun keempat, penulis menjadi perwakilan FTK di Tim Trainer Keilmiah ITS yang bergerak di bidang keilmiah di lingkup ITS. Selain aktif organisasi di lingkup ITS, penulis juga aktif di Forum Mahasiswa Tulungagung Se-Surabaya (FORMASTA) yang bergerak di bidang Sosial dan Pendidikan serta pernah menjadi Ketua Umum di FORMASTA pada tahun 2013/2014. Selama penulisan Tugas Akhir ini, penulis tidak lepas dari kekurangan. Untuk kritik, saran, dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui *e-mail* putragusmahamdana@yahoo.com.